

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Stjepan Brozović

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Dr. sc. Goran Đukić, dipl. ing.

Student:

Stjepan Brozović

Zagreb, 2017.

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći tijekom studija stečena znanja i vještine te služeći se navedenom literaturom.

Stjepan Brozović

ZAHVALA

Zahvaljujem se svom mentoru prof.dr.sc. Goranu Đukiću na svim ustupljenim stručnim i ljudskim savjetima, ustupljenoj literaturi i vremenu koje je uložio u izradu ovog diplomskog rada. Veliku zahvalu upućujem svim djelatnicima Primat Logistike, posebno g. Danijelu Topaloviću, g. Vladi Švajgeru i direktoru g. Bruni Dujmoviću bez čije pomoći, stručnih savjeta, strpljenja i vremena ne bi uspio napisati ovaj diplomski rad.

Isto tako zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima koji su uvijek bili uz mene kroz školovanje, posebna zahvala ide mojim roditeljima koji su mi bili podrška kad mi je to bilo najpotrebnije.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum: 0 - 11 - 2017	Prilog
Klasa: 602-04/17-6/4	
Ur. broj: 15-1703-17-382	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Stjepan Brozović**

Mat. br.: 0036457698

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Iskustvene spoznaje primjene vertikalnih podiznih modula**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Empirical Findings of the Application of Vertical Lift Modules**

Opis zadatka:

Jedna od izvedbi automatiziranih skladišnih sustava koju sve češće nalazimo u primjeni su vertikalni podizni moduli (engl. *Vertical Lift Module*, VLM). To su uređaji koji za odlaganje i izuzimanje robe koriste spremnike i lift uređaj, te robu dovode do čovjeka operatera. Osim osnovnih prednosti koje proizlaze iz same izvedbe i načina rada, za odluku o izboru ovog sustava važne su također i iskustvene spoznaje, kao npr. primjeri primjene, analize usporedbe s drugim izvedbama automatiziranih skladišnih sustava, analize vrijednosti pojedinih parametara modela oblikovanja.

U radu je potrebno:

- opisati izgled, osnovne dijelove i princip rada vertikalnih podiznih modula
- na primjerima konkretnih izvedbi (modela) najzastupljenijeg proizvođača ovih uređaja u Republici Hrvatskoj, kao i njihovih referenci, dati pregled izvedbi te područja primjene
- temeljem prikaza analitičkih modela oblikovanja te analize primjene ovih uređaja u praksi dati osvrt na problematiku oblikovanja i upravljanja ovim sustavima.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

28. rujna 2017.

Zadatak zadao:

Anđić

Prof. dr. sc. Goran Đukić

Datum predaje rada:

30. studenog 2017.

Predviđeni datum obrane:

6., 7. i 8. prosinca 2017.

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	V
POPIS OZNAKA	VI
POPIS KRATICA	VIII
SAŽETAK	IX
SUMMARY	X
1. UVOD	1
2. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI	2
2.1 Komponente automatiziranih skladišnih sustava i njihove značajke	4
2.1.1 Regalna konstrukcija	4
2.1.2 Manipulacijski uređaj	5
2.1.3 Moduli za pohranu robe (spremnici)	6
2.1.4 Stanica za odlaganje/izuzimanje robe	6
2.1.5 Upravljačka jedinica	6
2.2 Rad automatiziranih skladišnih sustava	8
2.3 Metode dodjeljivanja mjesta skladištenja	9
2.4 Performanse automatiziranih skladišnih sustava	10
2.5 Tipovi izvedbe automatiziranih skladišnih sustava	12
2.5.1 Automatizirani skladišni sustavi s dizalicama unutar prolaza	12
2.5.2 Automatizirani skladišni sustavi s regalnim vozilima	13
2.5.3 Vertikalni podizni moduli	14
2.5.4 Automatizirani vertikalni karuseli	15
2.5.5 Automatizirani horizontalni karuseli	16
3. VERTIKALNI PODIZNI MODULI	18
3.1 Općenito o vertikalnim podiznim modulima	18
3.2 Vertikalni podizni modul – „Shuttle XP“	20
3.2.1 Komponente VLM sustava	22
3.2.2 Smještaj VLM sustava u radni prostor	24
3.2.3 Police VLM sustava	26

3.2.4	Korištenje VLM sustava.....	28
3.2.5	Tehnički podaci VLM sustava – „Shuttle XP“.....	30
3.3	Sigurnost rada sa VLM sustavima.....	31
4.	USPOREDBA VLM-OVA I DRUGIH SLIČNIH SUSTAVA	34
4.1	Vertikalni karusel “Megamat RS”.....	34
4.2	Usporedba Shuttle XP i Megamat RS sustava	36
4.2.1	Značajke skladištenja robe	36
4.2.2	Prednosti Shuttle XP sustava.....	37
4.2.3	Prednosti Megamat RS sustava	38
4.3	Višeetažni horizontalni karusel	39
4.4	Usporedba Shuttle XP-a i višeetažnog horizontalnog karusela.....	41
5.	VERTIKALNI PODIZNI MODULI U PRAKSI	43
5.1	Proračun dimenzija i vremena za Shuttle XP	43
5.1.1	Primjer proračuna.....	46
5.2	Postupak montaže Shuttle XP sustava	49
5.3	Parametri rada Shuttle XP uređajima ostvareni u praksi	56
5.3.1	Vremena koja određuju trajanje radnog ciklusa uređaja.....	58
5.3.2	Rezultati provedenih mjerenja trajanja radnog ciklusa.....	60
6.	ANALIZA I USPOREDBA ANALITIČKIH I EMPIRIJSKIH PARAMETARA RADA.....	62
6.1	Analiza i usporedba empirijskih parametara rada i parametara prema proračunu proizvođača	62
6.2	Analiza i usporedba empirijskih parametara rada i parametara dobivenih analitičkim modelom	66
7.	ZAKLJUČAK.....	72
8.	LITERATURA	73

POPIS SLIKA

Slika 1.	Automatske skladišna regalna dizalica [4]	12
Slika 2.	Automatizirani paletni regal [5]	13
Slika 3.	Izvedba vertikalnog podiznog modula	14
Slika 4.	Primjer izvedbe automatiziranog vertikalnog karusela [4]	15
Slika 5.	Izvedba automatiziranog kartotečnog ormara [4]	16
Slika 6.	Izvedba automatiziranog horizontalnog karusela [5]	17
Slika 7.	Prikaz smjera kretanja lifta unutar radne stanice [6]	19
Slika 8.	Radna stanica s više modula uz mogućnost uzdužnog pomicanja ekstraktora [6]	19
Slika 9.	Komponente VLM sustava – „Shuttle XP“ [7]	22
Slika 10.	Manipulacijski uređaj VLM-a.....	23
Slika 11.	Specifične izmjere Shuttle XP sustava [7].....	24
Slika 12.	Izvedba VLM sustava kao samonosive jedinice [3]	25
Slika 13.	Sigurnosne udaljenosti između pojedinih polica [7]	26
Slika 14.	Preporuka za smještaj robe na policu [7].....	27
Slika 15.	Dodatna oprema polica VLM-a [6]	28
Slika 16.	Korisničko sučelje [6].....	28
Slika 17.	VLM sustav izveden kroz više etaža [4], [6]	29
Slika 18.	Problem refleksije predmeta [7].....	32
Slika 19.	Problem prozirnosti predmeta [7]	33
Slika 20.	Propisno osiguravanje tereta od pomicanja [6].....	33
Slika 21.	Kardex Megamat RS [9].....	34
Slika 22.	Tri različita tipa košara [9]	35
Slika 23.	Princip rada Megamat RS sustava – paternoster [9]	36
Slika 24.	Pad loše osiguranog tereta [9].....	37
Slika 25.	Problem disbalansa sustava [8]	38
Slika 26.	Usporedba dimenzija Megamat(lijevo) i Shuttle(desno) sustava [7], [9].....	39
Slika 27.	Višeetažni horizontalni karusel s fiksim platformama [6].....	40
Slika 28.	Višeetažni horizontalni karusel s podiznom platformom [6]	41
Slika 29.	Odabrani tip ladice za Shuttle XP [7].....	46
Slika 30.	Tehnički podaci za Shuttle XP 700	49

Slika 31.	Pozicioniranje baze Shuttle sustava	50
Slika 32.	Postupak niveliranja Shuttle sustava	51
Slika 33.	Temeljenje Shuttle uređaja	52
Slika 34.	Visinsko formiranje Shuttle uređaja.....	52
Slika 35.	Shuttle uređaj u visokoj fazi završenosti	53
Slika 36.	Pogon i elektronika sigurnosnih vrata	54
Slika 37.	Pogon manipulacijskog uređaja	55
Slika 38.	Pogon ekstraktora.....	55
Slika 39.	Natpisna pločica za „Shuttle XP 700“	56
Slika 40.	Upravljačka jedinica uređaja	57
Slika 41.	Modul za praćenje učinkovitosti uređaja.....	58
Slika 42.	Dijagram radnog ciklusa promatranog shuttle uređaja.....	59
Slika 43.	Dijagram prvih 50 mjerenja	62
Slika 44.	Dijagram drugih 50 mjerenja	63
Slika 45.	Dijagram trećih 50 mjerenja	64
Slika 46.	Pozicija „zlatne zone“ unutar uređaja	65
Slika 47.	Tipične sekcije VLM uređaja [11]	66

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tehnički podaci za Shuttle XP 700 [6].....	30
Tablica 2. Dimenzije Shuttle XP 700 [10].....	44
Tablica 3. Iznosi pomoćnih faktora kod proračuna uređaja Shuttle XP 700 [10]	45
Tablica 4. Rezultati mjerenja radnih ciklusa Shuttle uređaja.....	60

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
GB	mm	Širina VLM uređaja
GT	mm	Dubina VLM uređaja
GH	mm	Visina VLM uređaja
TH	mm	Visina praga radnog otvora
EP	mm	Pristupni položaj (donji rub ladice)
H_x	mm	Minimalna udaljenost do stropa
TBA	mm	Visina koju ladica zauzima
LG	mm	Visina pohranjene robe
SA	mm	Sigurnosna udaljenost: 10 mm / 20 mm
X	mm	Razmak vanjskih teretnih profila
Y	mm	Razmak unutarnjih teretnih profila
X_t	m/s	Pomoćni faktor za proračun brzine
Y_t	m/s	Pomoćni faktor za proračun brzine
Z_t	s	Pomoćni faktor za proračun vremena
T_ϕ	s	Prosječno vrijeme pristupa ladici u sekundama
T_{max}	s	Maksimalno vrijeme pristupa ladici u sekundama
RH	mm	Dostupna svijetla visina hale
X_v	mm	Pomoćni parametar ovisnosti o visini potrebnoj za smještaj ladice
NHr	mm	Neto korisna visina za smještaj ladica u zadnjoj stazi uređaja
NHfu	mm	Neto korisna visina za smještaj ladica u prednjoj gornjoj stazi uređaja
NHfl	mm	Neto korisna visina za smještaj ladica u prednjoj donjoj stazi uređaja
OH	mm	Visina radnog otvora
Tr	n	Broj ladica s zadnje strane uređaja
Tfu	n	Broj ladica s gornje prednje strane uređaja
Tfl	n	Broj ladica s donje prednje strane uređaja
T	n	Ukupan broj ladica
t_v	s	Vrijeme potrebno za otvaranje i zatvaranje sigurnosnih vrata
t_{ii}	s	Vrijeme potrebno da se obavi izuzimanje ladice

t_{oi}	s	Vrijeme potrebno da se obavi odlaganje ladice
t_{li}	s	Vrijeme potrebno da lift prevali potrebni put u vertikalnom smjeru
h_1, h_2, h_3	m	Visine pojedinih sekcija VLM uređaja
$t_{a/d}$	s	Dodatno vrijeme za ubrzanje ili usporenje manipulacijskog uređaja
$t_{p/d}$	s	Vrijeme odlaganja ili izuzimanja spremnika
t_{0i}	s	Očekivano vrijeme vožnje od/do radnog otvora do/od sekcije i
t_{ij}	s	Očekivano vrijeme vožnje sekcije i do sekcije j
p_1, p_2, p_3	-	Vjerojatnosti odlaganja spremnika u odgovarajućim sekcijama
p_{ij}	-	Vjerojatnost da se dvostrukim ciklusom odlaže spremnik u sekciji i te izuzima u sekciji j
v	m/s	Brzina vožnje manipulacijskog uređaja
$E(SC)$	s	Očekivano vrijeme vožnje manipulacijskog uređaja u jednostrukom ciklusu
$E(DC)$	s	Očekivano vrijeme vožnje manipulacijskog uređaja u dvostrukom ciklusu

POPIS KRATICA

KRATICA	ENGLESKI	HRVATSKI
AGV	<i>Automated Guided Vehicles</i>	Automatski vođena vozila
CNC	<i>Computer numerical control</i>	Računalno numeričko upravljanje
ERP	<i>Enterprise resource planning</i>	Sustav upravljanja resursima poduzeća
FCFS	<i>First-Come-First-Served</i>	Prvi došao, prvi se poslužuje
FIFO	<i>First In, First Out</i>	Prvi ulazi, prvi izlazi
LCFS	<i>Last-Come-First-Served</i>	Zadnji došao, prvi se poslužuje
LIFO	<i>Last In, First Out</i>	Zadnji ulazi, prvi izlazi
VLM	<i>Vertical Lift Module</i>	Vertikalni podizni modul
WMS	<i>Warehouse Management System</i>	Sustav upravljanja skladištem

SAŽETAK

Kroz ovaj diplomski rad opisana je svrha, uloga i tehnička rješenja automatiziranih skladišnih sustava. Naglasak je stavljen na vertikalne podizne module (eng. *Vertical Lift Module* – VLM) i njihovu primjenu u praksi. Dani su primjeri i iskustva vezana za projektiranje, montažu, rad i eventualne probleme koji se javljaju u eksploataciji vertikalnih podiznih modula.

Temeljem provedenih mjerenja radnih parametara vertikalnih podiznih modula i usporedbom izmjerenih vrijednosti s analitičkim modelima dan je osvrt na problematiku oblikovanja i upravljanja ovim sustavima u praksi.

Nadalje, prikazana je usporedba vertikalnih podiznih modula s ostalim sustavima automatiziranog skladištenja koje nudi poduzeće “Kardex Produktion Deutschland GmbH”, apsolutno najzastupljeniji proizvođača ovog tipa sustava u Hrvatskoj.

Ključne riječi:

automatizirani skladišni sustavi, vertikalni podizni moduli, radni ciklus VLM-a, primjena VLM-a, VLM sustavi u praksi

SUMMARY

Through this master's thesis, the purpose, role and technical solutions of automated storage systems are described. Emphasis is placed on Vertical Lift Modules (VLMs) and their application in practice, examples and experiences are given regarding design, installation, operation and eventual problems that arise in the exploitation of vertical lift modules

Based on the carried measurements of the working parameters of the VLMs and the comparison of the measured values with the analytical models, a review of the problems of designing and managing these systems in practice is given.

Comparison of vertical lift modules with other automated storage systems offered by "Kardex Produktion Deutschland GmbH", the absolute most prominent manufacturer of this type of system in Croatia, is also presented.

Key words:

automated storage systems, vertical lift modules, VLM working cycle times, the application of a VLM, VLM systems in practice

1. UVOD

Kroz povijest od kada se pojavila potreba za skladištenjem postoji težnja za poboljšanjima i optimizacijom u cilju što boljeg iskorištenja skladišne površine i volumena te bržeg, preglednijeg i ekonomičnijeg protoka robe i ljudi. Kroz tu težnju došlo se i do razvoja automatiziranih skladišnih sustava čiji su dio i vertikalni podizni moduli na koje će se kroz ovaj diplomski rad staviti naglasak.

Vetrikalni podizni moduli su specifična izvedba automatiziranih skladišnih sustava koji rade prema načelu "roba k čovjeku", pri tome omogućuju fleksibilnost i prilagodljivost različitim skladišnim prostorima. Primjenjivi su u svim područjima industrije, trgovine i usluga gdje postoji stalna potreba za skladištenjem/komisioniranjem niza različitih materijala i proizvoda. VLM sustavi precizno su konstruirani sustavi koji se izvode od dva paralelna stupca s fiksnim policama, u kojima su uskladišteni spremnici (ladice sustava), te središnjeg prolaza za dizalo (ekstraktor) koje vrši pohranu, izuzimanje i transport spremnika te su opremljeni modernim elektroničkim upravljačkim sustavom kako bi se osigurala sigurnost operatera i drugog osoblja, uz visok stupanj učinkovitosti i točnosti skladištenja, odnosno komisioniranja.

U sklopu ovoga diplomskog rada opisati će se svrha, uloga i tehnička rješenja automatiziranih skladišnih sustava. Detaljnije će se prikazati odabrani vertikalni podizni modul poduzeća "Kardex Produktion Deutschland GmbH", apsolutno najzastupljeniji proizvođača ovog tipa sustava u Hrvatskoj te njegova usporedba s ostalim automatiziranim sustavima skladištenja istog proizvođača.

Nadalje, navesti će se primjeri i iskustva iz prakse vezana za projektiranje, montažu, rad i eventualne probleme koji se javljaju u eksploataciji vertikalnih podiznih modula, a koristeći pritom literaturne izvore i iskustva iz tvrtke Primat Logistika.

2. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI

Automatizirani skladišni sustavi su po prvi put uvedeni u 1950 – im godinama kako bi se eliminiralo vrijeme potrebno za hodanje do lokacija za uskladištenje i komisioniranje robe različitih tipova, dimenzija i masa. Razlog tomu je jer čak 70% vremena otpada na vrijeme ljudskog rada potrebno da se pronade tražena lokacija [1].

U posljednjih pedesetak godina uložilo se mnogo truda i ostvario se popriličan napredak u samoj tehnologiji automatiziranog skladištenja, te broj takvih uređaja bilježi konstantan rast i predviđa se još intenzivniji pomak u narednim desetljećima.

Automatizirani skladišni sustavi imaju mnoge prednosti, uključujući uštede u troškovima rada, učinkovitiji su u pogledu upravljanja tokom materijala i kontroli zaliha, poboljšana je tok materijala između razina. Ostvaruje se visoko iskorištenje podne površine i samog volumena prostorijske a naravno, kako se radi o uređajima gdje je ljudska prisutnost minimalna, povećana je sigurnost u radu. Kao velika prednost automatiziranih skladišnih sustava ističe se kvalitetna i pravovremena rotacija zaliha prema raznim modelima upravljanja: FIFO, LIFO i dr.

Kako bi se ostvario učinkovit rad automatiziranih skladišnih sustava prilikom njihovog dimenzioniranja i konstrukcije potrebno je planirati [2]:

- Fizičke specifikacije prostora: visinu, duljinu i širinu skladišnog prostora te veličinu i broj otvora za pohranu/izuzimanje,
- Radne karakteristike sustava: horizontalna i vertikalna ubrzanja i brzine transportiranja te broj i tip samih liftova¹ ili kranova,
- Strategiju upravljanja samim sustavom.

Tipično, automatizirani skladišni sustavi se sastoje od niza prolaza svaki od kojih služi za kretanje lifta ili kрана kako bi mu se omogućilo pohranjivanje i izuzimanje robe koja se skladišti. Svaki prolaz na svome kraju i/ili početku sadrži stanicu za odlaganje odnosno

¹ Lift – kada se spominje u kontekstu automatiziranih skladišnih sustava lift predstavlja manipulatorsku jedinicu koja obavlja zadatke pohrane i izuzimanja robe sa unaprijed definiranih skladišnih lokacija u vertikalnom i horizontalnom smjeru. U praksi se još naziva i ekstraktor ili shuttle.

izuzimanje robe (tzv. pretovarna stanica²) Svrha te stanice je omogućiti ulazno/izlaznu zonu za robu kojoj mogu pristupiti i lift odnosno kran te s druge strane sredstvo vanjskog transporta (npr. viličar, robot manipulator i dr.) kojim se automatizirani skladišni sustav poslužuje.

Temeljem svega navedenog, automatizirani skladišni sustavi svoju primjenu su našli u procesima montaže elektroničkih komponenti gdje su montažne stanice instalirane na otvorima za izuzimanje, u proizvodnji koja zahtjeva što manje ručne manipulacije s robom kako bi se zadovoljili određeni higijenski uvjeti, u zdravstvenoj i farmaceutskoj industriji prilikom rukovanja paletama s lijekovima i sl. Nadalje, automatizirani skladišni sustavi posebno su primjenjivi kod skladištenja smrznute hrane, pogotovo gdje se temperatura uvijek drži na -20°C i niže, što je posebno nepovoljna radna atmosfera prema ljudskim operatorima.

Jedne od zadnjih primjena automatizirani skladišnih sustava iz prakse su u automobilske industriji. Nakon što se završi bojanje automobilske karoserije, odlaže se u određeni vid automatiziranog skladišnog sustava kako bi se ostvario određeni „buffer“³ između linije završne montaže i lakirnice. Kada se u završnoj montaži pojavi potreba za karoserijom određene boje kran automatiziranog sustava dobavlja traženu karoseriju i isporučuje ju manipulatoru na liniji završne montaže, izuzev uloge same pohrane automatizirani skladišni sustav, ako je grijan, može služiti i kao prostor za sušenje boje [2].

Kada se sagleda sve ranije navedeno, ciljevi uvođenja automatiziranih skladišnih sustava u određeno poduzeće ili proizvodnju mogu se svesti na sljedeće [1]:

- Povećanje kapaciteta pohrane,
- Povećanje gustoće pohrane,
- Korisnije iskorištenje tvorničkog prostora (poda) koji se trenutno koristi za pohranu aktivnih radnih naloga ili poluproizvoda,
- Poboljšanje sigurnosti roba te smanjenje sitnih krađa,
- Smanjenje troškova rada te povećanje produktivnosti rada,
- Poboljšanje sigurnosti kod poslova skladištenja,

² Pretovarna stanica – jedano je od imena za ovaj dio automatiziranih skladišnih sustava kako bi se izbjegla konfuzija sa odlaganjem i izuzimanjem sa stvarnih fizičkih lokacija pojedine skladišne jedinice, u engleskoj literaturi ovaj dio se naziva *PD station – pick up, delivery station* ili *I/O station – input/output station*, za potrebe ovog rada koristiti će se izraz stanica za odlaganje/izuzimanje kako bi se ostalo u duhu jezika

³ eng. *buffer* – označava određeni vid međuskladišta kako bi se kompenzirala razlika u radnim taktovima između različitih djelova proizvodnje

-
- Poboljšanje kontrole nad zalihama,
 - Poboljšanje rotacije zaliha,
 - Poboljšanje usluge za korisnike,
 - Povećanje propusnosti.

2.1 Komponente automatiziranih skladišnih sustava i njihove značajke

Kroz ovo poglavlje bit će više riječi o samim komponentama koje tvore automatizirane skladišne sustave a neke od njih spomenute su i ranije. Praktično svi automatizirani skladišni sustavi sastoje se od sljedećih komponenti [1], [3]:

- Regalna konstrukcija,
- Manipulacijski uređaj – lift ili kran,
- Moduli za pohranu robe (spremnici),
- Stanice za odlaganje/izuzimanje robe,
- Upravljačka jedinica.

2.1.1 Regalna konstrukcija

Skladišna struktura sustava je rešetkasti okvir koji se tipično izrađuje od čeličnih profila koji su međusobno spajaju zavarenim i/ili vijčanim spojevima, konstrukcija mora biti dimenzionirana na način da podržava opterećenja koja se javljaju u radu automatiziranog sustava te mase roba koje se u njega pohranjuju. Struktura mora posjedovati dovoljnu čvrstoću i krutost kako se ne bi značajnije deformirala djelovanjem sila koje se javljaju u eksploataciji sustava, kako statičkih tako i dinamičkih opterećenja. Pojedinačne skladišne lokacije moraju biti konstruirane i izvedene na način da prihvaćaju i nose module za pohranu robe (palete, kutije i dr.) koji se koriste za pohranjivanje unutar samog sustava. Struktura sustava također se može koristiti kao nosiva konstrukcija za krov i bočne stranice zgrade u kojoj se nalazi automatizirani skladišni sustav. Druga je funkcija skladišne strukture osigurati dovoljne širine i dovoljan broj prolaza potreban za kretanje manipulacijskih uređaja s obzirom na zahtjeve koji su stavljeni pred automatizirani skladišni sustav u eksploataciji. Kod prolaza, u ovisnosti o vrsti korištenog manipulacijskog uređaja, treba uključiti vodilice na vrhu i dnu strukture, kao i krajnje zaustavljače i druge značajke potrebne za sigurnost odvijanja operacija.

2.1.2 Manipulacijski uređaj

Manipulacijski uređaj se koristi za obavljanje transakcija pohrane, isporuku robe iz stanice za odlaganje/izuzimanje u pohranu i preuzimanje robe iz pohrane te isporuka na stanicu za odlaganje/izuzimanje. Za obavljanje tih transakcija manipulacijski uređaj mora biti u mogućnosti obavljati vodoravna i okomita kretanja radi poravnavanja samog uređaja (lifta ili kрана), koji nosi robu, s modulima za pohranu robe koji se nalaze u strukturi sustava. Česta izvedba manipulacijskih uređaja je u vidu krutog jarbola ili okomitog mosnog granika koji se kreće (kojeg se vodi) po sustavu tračnica. Kotači su pričvršćeni na podnožju (i vrhu) jarbola kako bi se omogućilo vodoravno kretanje duž tračnice sustava koja je paralelna s prolazima. Paralelna tračnica na vrhu skladišne strukture se koristi za održavanje poravnanja jarbola i ekstraktora s obzirom na skladišnu strukturu.

Manipulacijski uređaj također uključuje mehanizam za pomicanje tereta u i iz skladišne lokacije. Dizajn manipulacijskog uređaja također mora omogućiti vezu sa stanicom za odlaganje/izuzimanje robe ili s drugim sučeljem za rukovanje materijalom na izlazno/ulaznom dijelu automatiziranog sustava. Rad manipulacijskog uređaja u klasičnoj izvedbi automatiziranog sustava aktivira se automatski kada se roba pojavi na stanici za odlaganje ili kada preko softvera dođe zahtjev za izuzimanjem robe iz određene skladišne lokacije.

Za postizanje traženih pomaka manipulacijskog uređaja, postoje tri odvojena pogonska sustava: pogon za vodoravno kretanje jarbola, pogonski motor za okomito kretanje ekstraktora te pogon na samom ekstraktoru kako bi ostvarilo odlaganje/izuzimanje robe u odnosno iz skladišne lokacije. Moderni manipulacijski uređaji dostupni su s vodoravnim brzinama do 200 m/min duž prolaza i okomitim brzinama odnosno brzinama dizanja do 50 m/min. Te brzine određuju vremena potrebna za obavljanje transakcije pohrane odnosno izuzimanja robe do i od određene lokacije u stanicu za odlaganje/izuzimanje. Ubrzanje i usporenje imaju značajan utjecaj na vrijeme putovanja kada se radi o kratkim udaljenostima. Transfer robe ostvaruje raznim tipovima mehanizama, uključujući vilice (za transport paleta) te uređaje koji rade na principu trenja, poput trakastih konvejera, za robu koja se skladišti u spremnicima s ravnim dnom.

2.1.3 Moduli za pohranu robe (spremnici)

Kada se govori o modulima za pohranu robe najčešće se misli na tip i vrstu spremnika koji se koristi za odlaganje robe u skladišnu strukturu sustava. Tu se većinom radi o različitim tipovima paleta, sanduka, kontejnera i plastičnih posuda te posebnih izvedbi ladica koje se najčešće koriste kod vertikalnih podiznih modula, a u praksi se još nazivaju tablarima, policama, pladnjevima i dr. Spremnici su u pravilu uniformnih tlocrtnih izmjera, a često i visine, kako bi se omogućilo njihovo nesmetano manipuliranje unutar same skladišne strukture i sa univerzalnim manipulacijskim uređajem.

2.1.4 Stanica za odlaganje/izuzimanje robe

Stanica za odlaganje/izuzimanje robe su „postaje“ na krajevima prolaza gdje se vrši odlaganje robe koju treba pohraniti, odnosno izuzimanje robe koja izlazi iz automatiziranog skladišta. Pristup tim stanicama mora biti omogućen manipulacijskom uređaju koji radi unutar automatiziranog skladišnog sustava te naravno i sredstvima vanjskog transporta. Stanice za odlaganje/izuzimanje mogu se nalaziti na suprotnim krajevima prolaza za skladištenje ili kombinirati na istom mjestu. To ovisi o organizacijskoj strukturi samog skladišta kao i logističkom rješenju dolaznih i odlaznih roba, odnosno pošiljaka te potrebnom protoku robe kroz skladište kao i o projektiranim vršnim opterećenjima. Stanica mora biti konstruirana tako da bude kompatibilna i s manipulacijskim uređajem i vanjskim sustavom za rukovanje. Uobičajene metode za vanjsko rukovanje teretima na stanicama uključuju ručno rukovanje, rukovanje različitim tipovima viličara, transportnim konvejerima (npr. valjčasti), robotskim manipulatorima i automatski vođenim vozilima – AGV.

2.1.5 Upravljačka jedinica

Upravljačka jedinica automatiziranog skladišnog sustava njegova je srž, kao i svakog modernog uređaja. Ona ima za cilj omogućiti što jednostavnije korištenje cjelokupnim sustavom za krajnjeg korisnika te pri tome ostvariti tražene brzine manipuliranja, točnosti pozicioniranja i dr.

Glavni problem prilikom upravljanja automatiziranim skladišnim sustavom je pozicioniranje manipulacijskog uređaja unutar prihvatljivih tolerancija u odnosu na položaj skladišne jedinice kojoj treba pristupiti. Potrebno je egzaktno utvrditi mjesto pojedinih roba pohranjenih u sustavu kako bi se manipulacijski uređaj mogao usmjeriti k traženoj skladišnoj

jedinici. Unutar određenog prolaza u skladištu svaka jedinica je identificirana svojom vodoravnom i okomitom lokacijom te dali se nalazi na desnoj ili lijevoj strani prolaza. Time se može kreirati prostorna shema koja se temelji na alfa-numeričkim kodovima. Koristeći ovako oformljenu shemu svaka definirana skladišna jedinica, odnosno alfa-numerički kod dodjeljen pojedinoj fizičkoj lokaciji u sustavu upućuje na točno određeno mjesto u skladištu na koje se manipulacijski uređaj mora pozicionirati. Položaj tih lokacija naziva se "datoteka skladišnih lokacija". Svaki put kada je transakcija pohrane dovršena, krajnja lokacija transakcija mora biti zabilježena u datoteci skladišnih lokacija.

S obzirom na određenu skladišnu lokaciju, manipulacijski uređaj mora biti kontroliran da se precizno pozicionira na to mjesto i postaviti ekstraktor u ravninu iz koje može započeti s odlaganjem ili izuzimanjem tereta. Jedna metoda pozicioniranja koristi postupak brojanja koji broji broj skladišnih lokacija i razina u smjeru vožnje (vodoravno i okomito) za određivanje položaja. Alternativna metoda koristi se numeričkim procesom identifikacije pri kojem se svaki odjeljak oprema reflektirajućim markerima s binarno kodiranim identifikatorima lokacije na površini markera. Optički skeneri se koriste za čitanje zapisa s markera i na taj način se utvrđuje potreban položaj ekstraktora kako bi on mogao obaviti odlaganje ili izuzimanje robe.

Sve izračune i naredbe odrađuje računalo dok se programabilni logični kontroleri koriste za određivanje tražene skladišne lokacije te se pomoću njih vodi manipulacijski uređaj do zahtijevane lokacije. Računalna kontrola dopušta da se fizičke operacije unutar automatiziranog skladišnog sustava integriraju s informacijskim sustavom i sustavom pohrane smještaja robe po određenim skladišnim lokacijama. Transakcije pohrane mogu se unijeti u realnom vremenu te se na taj način stanje zaliha može voditi izuzetno točno. Nadalje, računalna kontrola omogućava praćenje radnih parametara i performansi sustava, čime se olakšava komunikacija s drugim računalnim sustavima u tvornici, odnosno skladištu. Te automatske kontrole mogu se zamijeniti ili nadopuniti ručnim imputima kontrolora kada je to potrebno u hitnim slučajevima ili prilikom održavanja sustava.

2.2 Rad automatiziranih skladišnih sustava

Rad automatiziranih skladišnih sustava u pravilu se odvija u jednom od dva moda [2], [3]:

- Rad u jednostrukom ciklusu (eng. *Single cycle – SC*) ili
- Rad u dvostrukom (izmjeničnom) ciklusu (eng. *Dual cycle – SC*).

Za bilo koji od dva spomenuta moda, manipulacijski uređaj radni ciklus započinje u stanici za izuzimanje/odlaganje, potom vrši izuzimanje robe iz skladišne lokacije i/ili odlaganje na skladišnu lokaciju te radni ciklus završava u početnoj točki, stanici za izuzimanje/odlaganje.

Kada manipulacijski uređaj radi u jednostrukom ciklusu on vrši ili izuzimanje robe ili odlaganje, dok kada uređaj radi u dvostrukom ciklusu uređaj vrši i izuzimanje i odlaganje robe u istom ciklusu. U dvostrukom ciklusu manipulacijski uređaj izuzima robu sa stanice, potom putuje do skladišne lokacije kako bi ju uskladištio, kada odradi skladištenje robe odlazi do druge lokacije gdje odraduje izuzimanje robe koju odvozi do izlazne stanice te time završava jedan dvostruki ciklus [2].

Učinkovitost rada automatiziranih skladišnih sustava ovisi o korištenoj metodici kontrole koja upravlja operacijama odlaganja odnosno izuzimanja robe. Uobičajena praksa kod procesiranja zahtjeva za odlaganje i izuzimanje je da se oba zahtjeva obrađuju po principu „prvi došao, prvi se poslužuje“ – FCFS. Pretpostavka rada po principu FCFS-a razumna je za skladišta kada se radi o operacijama odlaganja, budući da se većina automatiziranih skladišnih sustava povezuje s transportnom petljom za unos robe. U ovom slučaju, teško je mijenjati redoslijed robe koje čeka skladištenje. Međutim, pretpostavka FCFS-a nije uvijek povoljna za operacije izuzimanja robe iz skladišta budući da su zahtjevi za izuzimanje zapravo elektroničke poruke i lako ih se može preurediti prema hitnosti, u praksi se u tom slučaju govori o sekvenciranju. Sekvenciranje (eng. *sequencing*) je metoda koja pokušava odrediti redoslijed obavljanja zahtjeva na način da se minimizira ukupno vrijeme. S obzirom da dizalica obavlja jednostruke i dvostruke radne cikluse, može se reći da će se skup nekih zahtjeva odraditi u ruti dizalice koja počinje početnom točkom prvog zahtjeva a završava zadnjom točkom zadnjeg zahtjeva. Zadatak je određivanjem redoslijeda obavljanja zadataka minimizirati ukupno vrijeme [3].

Kod rada manipulacijskog uređaja u dvostrukom ciklusu zahtjevi za odlaganje i izuzimanje mogu se upariti kako bi se smanjilo transportno vrijeme provedeno

između mjesta za odlaganje i mjesta za izuzimanje. Smanjenjem vremena putovanja, moguće je povećati propusnost sustava (tj. povećati broj odlaganja i/ili izuzimanja koja se mogu izvršiti u bekom periodu) i smanjiti operativne troškove automatiziranog skladišta kao što je trošenje mehaničkih dijelova i utrošak električne energije. Smanjenje vremena putovanja do 50 koje se može ostvariti korištenjem dvostrukog ciklusa dovodi do povećanja propusnosti sustava od 10-15%. Takvo povećanje propusnosti moglo bi pomoći u rješavanju vršnog opterećenja sustava te potencijalno čak i eliminirati potrebu za određenim brojem prolaza u sustavu s više prolaza dok je sam sustav još u fazi projektiranja, što bi dovelo do znatnih ušteda [2].

2.3 Metode dodjeljivanja mjesta skladištenja

Kod automatiziranih skladišnih sustava prazne skladišne lokacije dodjeljuju se ulaznoj robi različitim metodama i pravilima u ovisnosti o potrebama samog korisnika, karakteristikama skladištene robe, dimenzijama samog skladišta i dr. U slučaju slučajnog odlaganja robe, svaka ulazna jedinica ima istu vjerojatnost biti pohranjena u bilo kojoj slobodnoj lokaciji. Kada se roba skladišti po principu klasa (zona skladištenja), npr. ABC metoda⁴ skladištenja, roba koja se skladišti djeli se prema klasama, a skladišni prostor podijeljeni su u više zona prema učestalosti odlaganja/izuzimanja, odnosno prema broju i učestalosti transakcija. Proizvodi s najučestalijim transakcijama pohranjuju se u dio skladišta koji je najbliži stanici za odlaganje/izuzimanje, pri tome se pojedinačna robna jedinica pohranjuje nasumično u dodijeljenoj zoni. Kada se pak radi o skladištenju po principu unaprijed dodijeljenih lokacija ili grupe lokacija, svaka robna jedinica pohranjuje se u unaprijed dodijeljenu lokaciju.

Kada se radi usporedba skladištenja s dodijeljenim lokacijama ili zonama naspram skladištenja gdje se koristi slučajno odlaganje, dolazi se do zaključka da se kod slučajnog odlaganja u pravilu zahtijeva manje prostora za pohranu. Razlog tome je što maksimalan potreban broj skladišnih lokacija manji ako se sva roba gleda kao jedna cjelina a ne kao odvojene cjeline prema usvojenim parametrima, rezerva prostora ostavlja se za cijeli asortiman što je povoljnije nego da se rezerva kalkulira za svaku zonu zasebno. Nadalje,

⁴ ABC metoda – skladišne lokacije su podjeljene u tri zone skladištenja (A, B i C) u ovisnosti o frekventnosti roba koje se u njima skladište, gdje je A – najfrekventniji tipovi robe (najkraće vrijeme zadržavanja u skladištu), C – najnefrekventniji tipovi robe (najduže vrijeme zadržavanja u skladištu).

usporedbom transportnih vremena između ove dvije tehnike skladištenja dolazi se do zaključka da se skladištenjem po zonama skraćuju prosječna transportna vremena ako se uzme pretpostavka da se radi o jednakim skladišnim prostorima. Međutim, kod odlaganja po zonama i po unaprijed definiranim lokacijama problem se javlja i teško se efikasno primjenjuju ako su učestalosti i količine pojedine robe promjenjive u vremenu. Za ovakav tip robe slučajno odlaganje daje puno bolje rezultate [2].

Pravila prema kojima se dodjeljuju skladišne lokacijama ukratko su opisane u prethodnom dijelu, a njihova primjena i detalji dani su u nastavku. Tri najčešća pravila prema kojima se dodjeljuju skladišne lokacije [2]:

- Nasumično dodjeljivanje lokacije – skladišna lokacija odabire se slučajno (nasumično) od svih slobodnih skladišnih lokacija. Ovo pravilo široko je korišteno u praksi i koristi se kako bi se aproksimirali parametri rada koji se traže od skladištenju po principu „najbliže (prve) slobodne lokacije“.
- Skladištenje prema zonama – roba koja se skladišti kao i same skladišne lokacije rangiraju se prema protoku i prema udaljenosti (u transportnim vremenima) od stanice za izuzimanje/odlaganje, svaka jedinica zasebno. Nakon što se utvrde traženi protoci i vremena, roba i skladišne lokacije dijele se u nekoliko zona (klasa), 2 ili 3, na način da je roba s najvećim protokom smještena nasumično u zoni skladišta najbližoj stanici za izuzimanje/odlaganje.
- Skladištenje prema punom protoku – za ovo pravilo roba s najvećim protokom i najkraćim periodom zadržavanja u skladištu nalazi se neposredno uz stanicu za izuzimanje/odlaganje. Nakon što se formira zona punog protoka ostatak skladišta uredi se prema skladištenju u zonama.

2.4 Performanse automatiziranih skladišnih sustava

Performanse automatiziranih skladišnih sustava razlikuju se u ovisnosti o tehničkim parametrima samih sustava, robe koja se skladišti te zahtjevima za koje je sustav projektiran. Mjerenje performansi sustava može uključivati [2]:

- Transportna vremena po operaciji odlaganja, odnosno izuzimanja,
- Ukupno vrijeme potrebno za obavljanje tražene operacije/a,
- Prosječno vrijeme čekanja da se realizira zahtijevana operacija i dr.

Mnogi parametri mogu utjecati na performanse automatiziranih skladišnih sustava. Iako su neki parametri međusobno povezani u praksi dijele se u tri grupe: traženi zahtjevi, fizička izvedba, pogonski uvjeti.

Traženi zahtjevi predstavljaju upite koji moraju biti odrađeni (izuzeti ili odloženi) kako bi se ostvarili zacrtani proizvodni (distribucijski) ciljevi. Zahtjeve je moguće definirati s nekoliko parametara [2]:

- Broj upita zaprimljenih u određenoj vremenskoj jedinici,
- Broj robnih jedinica koje se moraju izuzeti unutar jednog upita,
- Dimenzije i mase robe koja se mora obraditi,
- Rok trajanja pojedine robe ukoliko je kvarljiva,
- Uzorak u zaprimanju upita kako stižu prema sustavu, statičko i dinamičko zaprimanje upita. Kod statičkog se upiti akumuliraju po grupama te se nakon što je grupa kompletirana kreće se u realizaciju kompletne grupe, dok se kod dinamičkog upiti rješavaju kako dolaze.

Sljedeća grupa parametara koji utječu na performanse sustava vezan je za njegovu fizičku izvedbu. Neki od tih parametara su: veličina skladišnih jedinica (lokacija), dužina, širina i visina same skladišne strukture (predugački prolazi mogu imati za posljedicu naprezanje manipulacijskih uređaja), dubina odlaganja te kapacitet (nosivost) i broj samih manipulacijskih uređaja.

Treća skupina parametara koje utječu na performanse automatiziranih skladišnih sustava su pogonski uvjeti, koje uključuju pravila za pohranu i izuzimanje robe (ciklus pohrane, ciklus izuzimanja, odlaganje i izuzimanje u istome ciklusu), transportno vrijeme i učestalost potrebe za određenom robom, procesiranje i doziranje upita, odabrana tehnika skladištenja (FCFS, LCFS, prioritet i dr.), raspored skladišnih lokacija i princip usmjeravanja manipulacijskog uređaja [2].

Parametar rada koji se posebno prati i značajan je u praksi je propusnost sustava – protok kroz sustav. Propusnost sustava definira se kao broj transakcija po satu koje automatizirani skladišni sustav može odraditi. Transakcija uključuje odlaganje robe u skladište ili izuzimanje robe iz skladišta. Bilo koja od navedenih transakcija obavlja se u pojedinačnom ciklusu rada, dok dvostruki ciklus ostvaruje oboje vrste transakcija u jednom prolazu: budući da to smanjuje transportno vrijeme rezultat je povećani protok robe kada sustav radi u dvostrukom radnom ciklusu.

2.5 Tipovi izvedbe automatiziranih skladišnih sustava

Kroz ovo poglavlje bit će prikazani u praksi najzastupljeniji tipovi izvedbe automatiziranih skladišnih sustava, dati će se prikaz značajki svakog pojedinog sustava kako bi se stekao uvid u njihove sličnosti i različitosti te iz toga razloge primjene u praksi.

Kroz praksu sljedeći automatizirani skladišni sustavi pokazali su se najprimjenjiviji za potrebe različitih industrija i logističkih centara [3], [4]:

- Automatizirani skladišni sustavi s dizalicama unutar prolaza,
- Automatizirani skladišni sustavi s regalnim vozilima,
- Vertikalni podizni moduli,
- Automatizirani vertikalni karuseli,
- Automatizirani kartotečni ormari,
- Automatizirani horizontalni karuseli.

2.5.1 Automatizirani skladišni sustavi s dizalicama unutar prolaza

Automatizirani skladišni sustavi s dizalicom unutar prolaza projektiraju se namjenski za skladištenje različitih vrsta artikala. Sustavi rade prema principu "roba k čovjeku" [4]. Skladišne jedinice se lociraju na policama automatski. Transport se odvija pomoću automatskih dizalica i transportnih sustava. Vođenje skladišnog poslovanja ostvaruje se pomoću računala integracijom sustava za upravljanjem resursima poduzeća – ERP i sustava za upravljanjem skladištem – WMS.



Slika 1. Automatizirani skladišni sustavi s dizalicama unutar prolaza [4]

Automatizirani skladišni sustavi s dizalicom unutar prikazan na slici 1. primjer je izvedbe ovog sustava za potrebe skladištenja plastičnih kutija uniformnih dimenzija u poduzeću Narodne Novine u Zagrebu.

Kao skladišno transportne jedinice moguće je u ovakvim sustavima koristiti i Euro palete i druge vrste paleta, različite sanduke i dr. Regalne dizalice projektiraju se i izvede sukladno željenim brzinama i visinama rada te nazivnom opterećenju. Ovakva rješenja moguće je koristiti u svim granama industrije i distribucije (prehrambena, farmaceutska, kemijska, rashladne komore i sl.).

2.5.2 Automatizirani skladišni sustavi s regalnim vozilima

Automatizirani skladišni sustavi s regalnim vozilima u praksi se često izvede kao ulazni (eng. *drive-in*) ili prolazni (eng. *drive-through*) regali s automatski vođenim vozilom koje distribuira palete koristeći se prolazima, time se ostvaruje poluautomatsko skladišno rješenje za rukovanje robom (paletama) unutar prolaza [5]. Automatizirani paletni regali (primjer na slici 2.) uklanjaju potrebu za ulaskom viličara u prolaze i time štedi vrijeme potrebno za pohranu te umanjuje rizik od oštećenja same regalne konstrukcije i robe koja se skladišti. Ipak viličar je potreban za odlaganje ili izuzimanje robe s AGV-a⁵, kao i za premještanje AGV-a iz etaže u etažu ako to nije drugačije ostvareno, npr. zasebnim liftom za AGV na kraju prolaza.



Slika 2. Automatizirani paletni regal [5]

⁵ AVG – kada se govori o AVG vozilima u sklopu automatiziranih skladišnih sustava s regalnim vozilima referira se na automatizirana regalna vozila koja putuju po nosačima paleta unutar samih regala

Slikom 2. prikazan je Automatizirani skladišni sustavi s regalnim vozilima poduzeća Dexion koji se koristi AGV-om za manipuliranje Euro platama unutar regalnih prolaza. AGV se s etaže na etažu prebacuje pomoću regalnog ili nekog drugog viličara, a moguća je i izvedba sa vanjskim podiznim sustavom koji prebacuje vozilo s etaže na etažu.

2.5.3 Vertikalni podizni moduli

Vertikalni podizni moduli, u Hrvatskoj praksi najčešće nazivani „shuttlovima“, automatizirani su skladišno-arhivski uređaji, koji koriste raspoloživi prostor od poda do stropa za pohranu roba raznih dimenzija i masa [4]. Glavna karakteristika im je što za manipulaciju skladišnim jedinicama – policama koriste princip lifta, odnosno ekstraktora koji putuje središnjim prolazom s čije se prednje i stražnje strane nalaze lokacije za odlaganje polica. Primjer izvedbe jednog takvog uređaja nalazi se na slici 3.



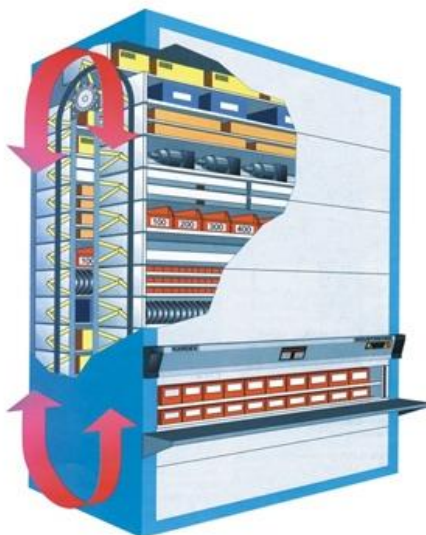
Slika 3. Izvedba vertikalnog podiznog modula

Uređaj prikazan na slici 3. vertikalni je podizni modul instaliran u prostorima poduzeća GE Power u Karlovcu. GE posjeduje više ovakvih uređaja različitih visina i nosivosti. To omogućuje modularni način gradnje jer se može prilagoditi svakoj visini do 30 m s visinskim korakom od 100 mm. Pristup robi je jednostavan i brz, a ostvaruje se pozivanjem određene ladice koja se isporučuje u vrlo kratkom vremenu na radni otvor. Postoji

direktan pristup do svake uskladištene robe. U odnosu na statičku opremu i organizaciju, ostvaruje se dinamički sustav s idealnim principom "roba k čovjeku". Za upravljanje uređajem na raspolaganju stoje razne mogućnosti, od ručnog upravljanja preko tipkovnice do visokosofisticiranog upravljanja prema zahtjevima korisnika. O ovoj vrsti uređaja puno će više riječi biti u nastavku ovog rada.

2.5.4 Automatizirani vertikalni karuseli

Automatizirani vertikalni karuseli, u praksi nazivani „okretni ormari“ su uređaji koji rade na principu kretanja polica u vertikalnoj ravnini, uz optimiranje najkraćeg puta u oba smjera [4]. Pozivanjem određene košare uređaj određuje smjer rotacije kako bi roba što kraće putovala do radne pozicije. Izvedba automatiziranog vertikalnog karusela prikazana je slikom 4.



Slika 4. Primjer izvedbe automatiziranog vertikalnog karusela [4]

Ovaj tip uređaja često se koristi se u farmaceutskoj industriji za potrebe uskladištenje garnitura žigova i matrica za izradu tableta. Pohranjene garniture zaštićene su od prljavštine i prašine. U svakom trenutku omogućen je brzi pristup do pojedine garniture za cca 30 sek i to u ergonomski pravilnom položaju.

Uređaji slični automatiziranim vertikalnim karuselima, a zapravo su njihova posebna izvedba, su automatizirani kartotečni ormari [4]. U praksi se koriste za pohranjivanje mapa s dokumentima, registratora, evidencijskih kartica, raznih dosjea, crteža, CD-ROM-ova, videokazeta ili drugih oblika dokumenata ili medija. Rade na istom principu okretnih ormara, a izvedba je prikazana na slici 5. u nastavku.



Slika 5. Izvedba automatiziranog kartotečnog ormara [4]

Automatizirani kartotečni ormar prikazan slikom 5. izuzetno je korišten uređaj u državnim institucijama za čuvanje posebne dokumentacije, a konkretan uređaj sa slike koristi se za potrebe Ministarstva unutarnjih poslova na izdavanju osobnih dokumenata građana.

2.5.5 Automatizirani horizontalni karuseli

Horizontalni karusel je automatizirani skladišni uređaj, koji nudi racionalizaciju skladišnog poslovanja, kada raspoložemo s relativno niskim, uskim i dugačkim skladišnim prostorom. Horizontalni karusel sastoji se od regalnih polja, koja rotiraju u horizontalnoj ravnini i koja su preko zglobnog ramena međusobno povezana, tako da predstavljaju beskonačni lanac. Pomoću elektromotora regalna polja se pomiču naprijed ili nazad do stanice s poslužiteljem.

Regalna polja zatvorena su s tri strane žičanim rešetkama i imaju određeni broj polica. Podovi polica mogu biti puni ili rešetkasti. Na svakom horizontalnom karuselu instalirana su klizna vrata koja se automatski otvaraju kada određeno polje dođe na radnu stanicu. Horizontalni karusel može biti po želji dugačak i imati do 100 nosača polica (polja), a u svakom polju do 10 polica, s visinskim rasterom od 75 mm. Nosivost police kreće se od 35 do

90 kg, a nosivost nosača 270 do 680 kg. Ukupno se u horizontalni karusel može uskladištiti do 60 tona razne robe. Roba se može uskladištiti u standardnim eurokutijama (metalnim, plastičnim ili kartonskim).

Ovakvi uređaji idealni su za skladišta u kojima se vrši komisioniranje robe. Jedna osoba može opsluživati do 4 horizontalna karusela istovremeno.



Slika 6. Izvedba automatiziranog horizontalnog karusela [5]

Slika 6. prikazuje izvedbu sustava automatiziranih horizontalnih karusela. Konkretno, radi se o tri karusela u zajedničkom zaštitnom kavezu, od kojih svaki robu isporučuje na zaseban otvor za izuzimanje koji se zatvara staklenim vratima kada je uređaj u radu.

3. VERTIKALNI PODIZNI MODULI

Kroz ovo poglavlje stavit će se naglasak na samu izvedbu vertikalnih podiznih modula, njihovu konstrukciju te tehničke i radne parametre. Prikazat će se značajke oblikovanja, ugradnje, upravljanja i rada sa spomenutim uređajima te dati osvrt na problematiku iz prakse.

3.1 Općenito o vertikalnim podiznim modulima

Vertikalni podizni moduli (eng. *VLM – Vertical Lift Module*) su automatizirani skladišni sustavi koji se sastoje od dva paralelna stupca s fiksnim policama, u kojima su uskladišteni spremnici (kutije ili ladice), te središnjeg prolaza za dizalo (shuttle/ekstraktor) koje vrši pohranu, izuzimanje i transport spremnika u vertikalnom smjeru [3]. Vertikalni podizni moduli se u praksi često nazivaju jednostavno „shuttleovi“, što im je većinom dolazi od njihovih komercijalnih, trgovačkih naziva. Razlog tomu je u Hrvatskoj najzastupljeniji proizvođač vertikalnih podiznih modula Kardex Remstar koji svoje modele ovih uređaja naziva Shuttle XP s dopunskom oznakom vezanom za nosivost pojedine police uređaja.

Današnji VLM sustavi su računalno upravljani, pri radu se koriste tri osnovne paralelne kolone. Prednja i stražnja kolona se koriste za skladištenje i opremljene su pregradama koje funkcioniraju kao police koje prihvataju skladišne artikle na pojedinu skladišnu lokaciju. Središnja kolona, koja je najčešće otvorena, koristi se kao radna staza za dizalo za odlaganje/izuzimanje koje se vertikalno kreće između prednje i stražnje kolone. Kada operater preda računalu (preko sučelja na terminalu) zahtjev za izuzimanje sa određene skladišne lokacije, artikl mu se dostavlja na otvor za odlaganje/izuzimanje robe na radnoj stanici. Prema slici 7., vertikalna strelica prikazuje vertikalnu radnu stazu lifta kojom on putuje kako bi pristupio zahtjevanoj skladišnoj lokaciji, pozicionirao se u horizontalnu ravninu zahtjevane skladišne lokacije. Horizontalna strelica ilustrira gibanje podiznog modula u trenutku kad ono odlaže, odnosno izuzima teret, u ovom slučaju polaganje i prikupljanje prikazano je na radnoj stanici operatera, a isti princip horizontalnog kretanja se koristi i kada ekstraktor odlaže ili izuzima ladicu u ili iz skladišne lokacije.



Slika 7. Prikaz smjera kretanja lifta unutar radne stanice [6]

Moderni vertikalni podizni moduli se konstruiraju kao fleksibilni sustavi te su u mogućnosti rukovati materijalom malih težina i dimenzija, kao i velikih dijelova, sirovaca, kutija, alata i kalupa, ovisno o izvedbi samog pogonskog sustava i obliku skladišnih lokacija. Dostupni su kao neovisni moduli, sa jednim dizalom po ulazu, kako je prikazano slikom 7. ili kao konfiguracije s više ulaza na slici 8.



Slika 8. Radna stanica s više modula uz mogućnost uzdužnog pomicanja ekstraktora [6]

Kako je prikazano slikom 8., konfiguracije s više povezanih ulaza pružaju dodatne mogućnosti pristupa skladišnim lokacijama i obično su dostupne s do 4 ulaza, karakterizira ih veći skladišni volumen po jednom manipulacijskom uređaju - liftu, ali uz to dolazi i duže vrijeme izuzimanja udaljenih ladica. To nije nužno negativno, dobiva se povećana fleksibilnost skladištenja i za rjeđe komisioniranu robu, dok se štedi na prostoru, a uklanjanje sklopa za izuzimanje na takvim modulima smanjuje i investicijske troškove.

Za primjer vertikalnog podiznog modula u sklop ovoga rada uzet je sustav tvrtke Kardex Remstar. Kardex Remstar jedan je od vodećih proizvođač intra-logističkih rješenja i vodeći dobavljač automatiziranih rješenja za pohranu te sustava za rukovanje materijalom. Poduzeće se sastoji od dviju nezavisno upravljanih odjela, Kardex Remstar i Kardex Mlog. Kardex Remstar razvija, proizvodi i održava shuttle i dinamičke sustave za pohranu i pronalaženje, a Kardex Mlog nudi integrirane sustave za rukovanje materijalom i automatizirana visoka skladišta.

Poduzeće je kroz dugi niz godina uspješno instaliralo više od 140 000 sustava u sektorima poput maloprodaje, skladištenja i proizvodnje, obrane i zrakoplovstva. Njihovi VLM sustavi osmišljeni su kako bi povećali produktivnost i poboljšali učinkovitost unutar poduzeća koje ih koristi. Dodatno, štede prostor potreban za pohranu iz razloga vertikalne konstrukcije visine i preko 30 m [6].

3.2 Vertikalni podizni modul – „Shuttle XP“

Vertikalni podizni modul Shuttle XP razvijan je i konstruiran na način da se zadovolji široki raspon primjena kod skladištenja/komisioniranja u proizvodnji, distribuciji, maloprodaji i skladištima. Iz tog razloga postoje 4 izvedbe spomenutog VLM-a, radi se o Shuttle XP 250, 500, 750 i 1000, navedene brojke odnose se na nosivosti pojedinih polica VLM-a, svaki od navedenih izvedbi modularan je i po pogledu dimenzija polica, visinskog rastera unutar samog uređaja kao i ukupne visine cijelog sustava. Time se ostvaruje kombinacija optimalne gustoće pohrane, fleksibilnih i učinkovitih strategija pohrane, ergonomije i sigurnosti pri radu.

Vertikalni podizni modul Shuttle XP zatvoreni je sustav na kojem se ladice pohranjuju vertikalno na prednjoj i stražnjoj strani uređaja. U sredini se nalazi uređaj za vađenje - lift, koji automatski isporučuje ladice s pohranjenim predmetima do pristupnog otvora kako je to slučaj i kod ostalih VLM-ova. Uređaj je računalno upravljan a korisnik se njime koristi preko upravljačke jedinice, korištenjem tipkovnice ili skeniranjem barkoda.

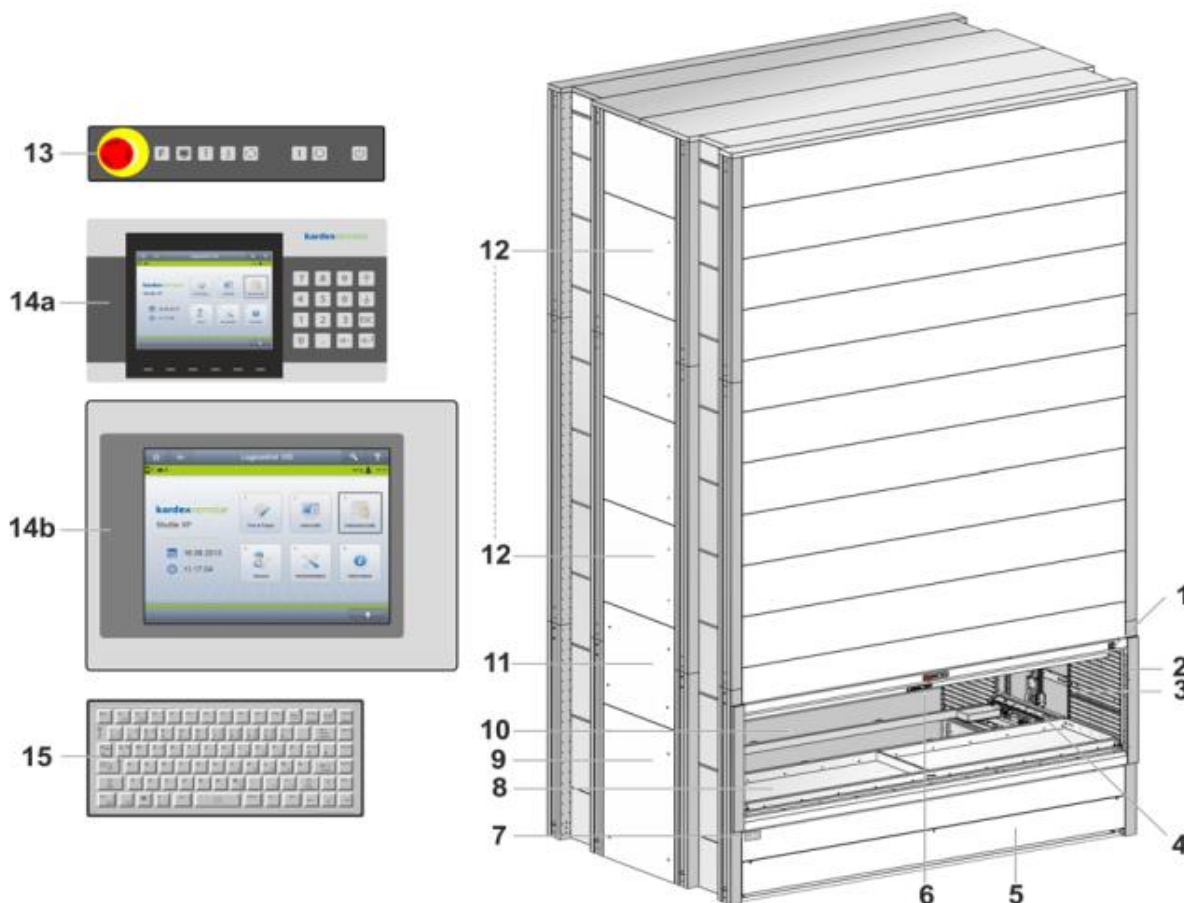
Kako je ranije naglašeno, uređaj je modularan u svojoj konstrukciji s mogućnošću promjene visine i broja pristupnih otvora prije i poslije ugradnje. Ovisno o visini stropa, može se osigurati ušteda do 85% uobičajenog prostora za pohranu koji bi bio potreban na podu. Shuttle XP automatski skenira svaku ladicu pomoću Optiflex tehnologije, pronalazeći idealno mjesto za pohranu unutar sustava u koracima od 25 mm. Ladice se na taj način pohranjuju uz najmanji mogući utrošak prostora, a pri tome uređaj pazi na opterećenje pojedine strane za pohranu (prednje i stražnje) kako ne bi došlo do prevelike razlike u opterećenju pojedine strane a time i nestabilnosti ili deformacija same konstrukcije [6].

Prednosti Shuttle XP skladišnog sustava i općenito svih vertikalnih podiznih modula u odnosu na ostale tipove skladištenja su [6]:

- Potrebno je manje radne snage - potrebna roba se automatski ispostavlja operateru, čime se štedi neproduktivno vrijeme koje se inače pojavljivalo. Opcionalno integrirani sustavi "pick-to-light" (LED) prikazuju mjesto skladištenja i potrebnu količinu robe, čime se osigurava vrlo visoka učinkovitost komisioniranja.
- Ergonomski dizajn - operater se ne mora penjati, saginjati ili protezati kako bi došao do pohranjene robe, jer VLM radi u skladu s načelom „roba k čovjeku“, naručeni dijelovi automatski se prenose na ergonomski dizajniran pristupni otvor. Ladice se mogu isporučiti na individualno postavljenoj radnoj visini.
- Poboljšana sigurnost – svi VLM-ovi su opremljeni sigurnosnim vratima koja štite i operativno osoblje i robu, a time se značajno smanjuje i razina buke u radu. Ovakav sustav dodatno omogućuje precizno praćenje kako bi utvrdio koji je operator pristupio određenoj ladici ako je tako postavljeno kroz sustav.
- Fleksibilnost - svaka ladica može se pojedinačno postaviti u skladu sa zahtjevima operatera. I opterećenja i položaji mogu se podesiti, dodatno je moguće postavljanje male brzine transportiranja za krhku robu, pohranjivanje često korištene robe u blizini u "zlatnoj zoni", stvaranje prava pristupa za ladice, spremanje ladica s različitim težinskim kapacitetima u jednoj jedinici i dr.

3.2.1 Komponente VLM sustava

Kako su VLM sustavi visoko automatizirani strojevi, sastoje se od nemalog broja komponenti i dijelova, stoga će na slici 9. u nastavku bit će prikazan pregled komponenti od koji se sastoji promatrani VLM sustav, kako bi se stekao bolji uvid u samu problematiku projektiranja konstrukcije i proračuna vremena [7].



Slika 9. Komponente VLM sustava – „Shuttle XP“ [7]

- | | |
|--|-----------------------------------|
| [1] Glavna sklopka | [9] Servisni otvor 1 |
| [2] Prednja svjetlosna zavjesna za zaštitu operatora | [10] Otvor za izuzimanje |
| [3] Svjetlosna zavjesa za detekciju visine | [11] Servisni otvor 2 |
| [4] Uređaj za izvlačenje | [12] Servisne ploče |
| [5] Kontrolna jedinica stroja | [13] Upravljačka sklopka |
| [6] Osvjetljenje | [14a] Upravljačka jedinica |
| [7] Natpisna pločica – deklaracija | [14b] Upravljački zaslon na dodir |
| [8] Ladica (polica) | [15] Upravljačka tipkovnica |

Slika 9. prikazuje sve komponente Shuttle XP sustava koje su vidljive i dostupne korisniku, postoje naravno pokretačke jedinice, elektromotori, vodilice, ladice i sami lift (ekstraktor), o čemu će biti više riječi u nastavku. Kako je sustav modularan i visinski jako proširiv, moguće je postojanje navedenih komponenti na više mjesta, ako se npr. radi o sutavu sa više otvora za izuzimanje na više razina. Glavna komponenta za korisnika je upravljačka jedinica preko koje se određenim naredbama upravlja radom sustava te tako poziva potrebne predmete (ladice) koji se nalaze uskladišteni u vertikalnom stupu sustava. Uređaj, manipulator – lift izvlači zatraženu ladicu izravno na pristupni otvor ili ju skladišti natrag u slobodan prostor za pohranu unutar uređaja, pri tome je osigurana jednostavnost korištenja putem ekrana ili skeniranjem barkoda, opisani uređaj prikazan je slikom 10.



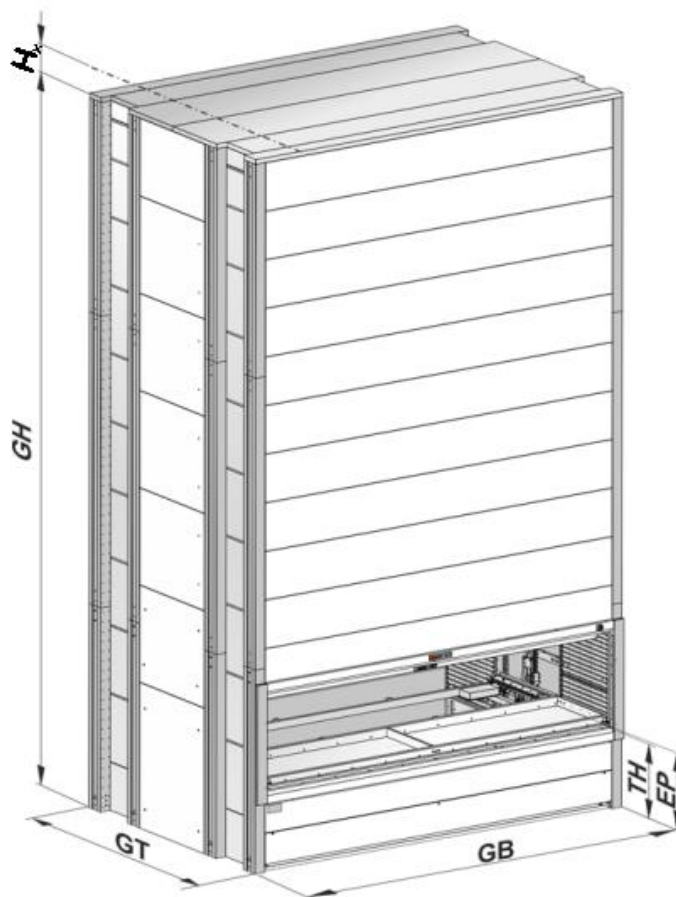
Slika 10. Manipulacijski uređaj VLM-a

Slikom 10. prikazan je sklop uređaja koji služi za izvlačenje ili odlaganje ladica u pohranu te za njihov transport, pogon lifta osigurava se s dva elektromotora različitih snaga. Jači elektromotor putem zupčastog remena pogoni kretanje lifta u vertikalnom smjeru što omogućuje veće brzine i kraće vrijeme pristupa proizvodu uz nižu razinu buke i produljeni životni vijek stroja. Dodatna bitna uloga i razlog korištenja zupčastog remena je osiguravanje sinkronosti pogona s pozicijom samog lifta, kako bi se ostvarilo idealno visinsko

pozicioniranje lifta kada on kreće sa izuzimanjem/odlaganjem pojedine ladice na njenu skladišnu lokaciju. Manji elektromotor služi za pogon izvlakača (ekstraktora) samih ladica. Koristi se lančani prijenos kako bi se osigurala adekvatna krutost prijenosa ladica koje mogu težiti i nekoliko stotina kilograma.

3.2.2 Smještaj VLM sustava u radni prostor

Kako je svaki VLM sustav planiran za direktnu ugradnju u sklopu proizvodnje, distribucije i sl., bitno je poznavati ugradbene mjere samog uređaja kako bi on mogao adekvatno smjestiti u traženi prostor i pri tome ostvariti potrebe korisnika [7]. U nastavku na slici 11. prikazan je pregled specifičnih izmjera VLM sustava koje su potrebne za prostorni smještaj jedinice, neke od njih su modularne ovisno o zahtjevima i potrebama korisnika.



Slika 11. Specifične izmjere Shuttle XP sustava [7]

[GB] Širina uređaja

[GT] Dubina uređaja

[GH] Visina uređaja

[TH] Visina praga radnog otvora

[EP] Pristupni položaj (donji rub ladice)

[H_x] Minimalna udaljenost do stropa

Kako je vidljivo iz slike 11. potrebno je osigurati minimalnu udaljenost sustava od stropa - H_x kako bi se olakšala ugradnja i održavanje. Osim dužine, širine i visine moguće je prilagoditi i visinu radnog otvora (praga), a samim time odrediti i pristupni položaj kako bi se osigurala što bolja ergonomija radnog mjesta.

Valja napomenuti kako opisani VLM sustavi mogu funkcionirati i kao samostalne (samonosive) jedinice izvedene na vanjskim rubovima tvorničke hale ili unutar same hale izvedeni kroz strop kako bi se ostvarila maksimalna iskoristivost tlocrtne površine. Jedna takva izvedba prikazana je u nastavku na slici 12.

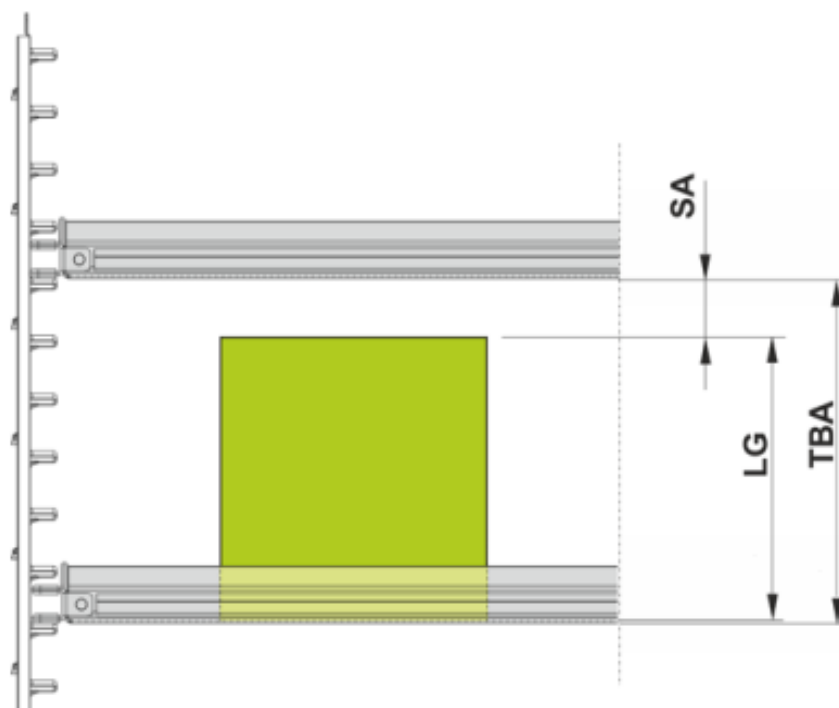


Slika 12. Izvedba VLM sustava kao samonosive jedinice [3]

Slika 12. prikazuje montažu i gotovu izvedbu VLM sustava u poduzeću DBT u Zaprešiću, radi se o Kardex-ovom uređaju „TowerMat“ koji je specijalna izvedba VLM sustava namjenjen za terete velikih masa i dimenzija.

3.2.3 Police VLM sustava

Kao i sami VLM, tako i jedna od njegovih osnovnih komponenti – polica (ladica), još nazivana i tablarom, dimenzionira se s obzirom na zahtjeve dimenzija i masa robe koja se u VLM planira skladištiti [7]. Broj i vrsta polica ovisi o sigurnosnoj udaljenosti [SA], koja je sigurnosno odstojanje police u odnosu na teret koji se nalazi na niže smještenoj polici. Sigurnosna udaljenost označena je na pločici tipa uređaja. Sigurnosna udaljenost [SA] je razmak između pohranjene robe [LG] i police postavljene iznad kako je prikazano na slici 13. u nastavku.



Slika 13. Sigurnosne udaljenosti između pojedinih polica [7]

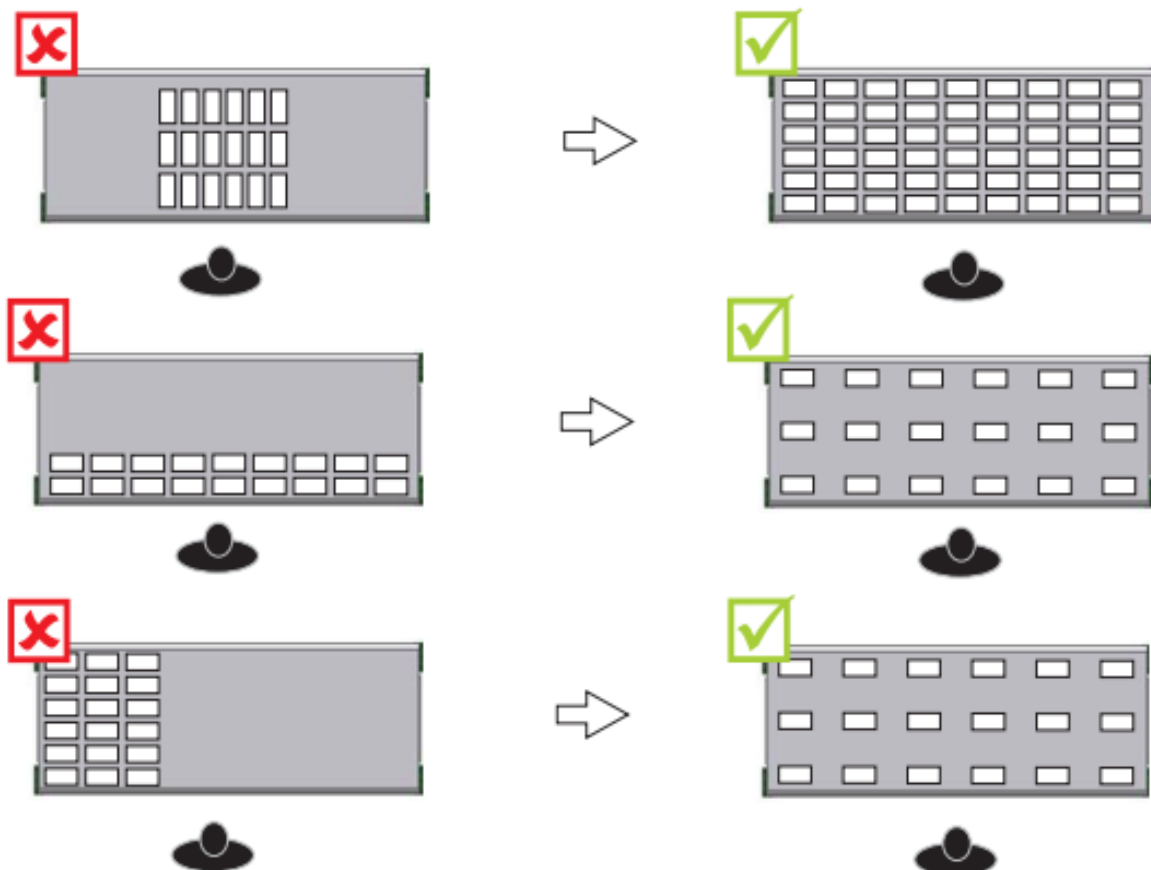
[LG] Visina pohranjene robe

[TBA] Visina koju ladica zauzima

[SA] Sigurnosna udaljenost: 10 mm / 20 mm

Slika 13. prikazuje smještaj proizvoda na polici te udaljenosti koje je potrebno ostvariti kako bi se zadovoljili sigurnosni zahtjevi kretanja polica i njihovog odlaganja/izuzimanja. U nastavku na slici 14. prikazani su uvjeti, odnosno preporuke proizvođača za optimalan i siguran smještaj robe na polici.

Ravnomjeran raspored robe na polici osigurava i ravnomjernu raspodjelu opterećenja na samu ladicu kao i ravnomjerno opterećenje na cjelokupnu konstrukciju, kako u transportu tako i u samoj pohrani.



Slika 14. Preporuka za smještaj robe na policu [7]

Preporuka prikazana na slici 14. postoji iz razloga što se maksimalno dopušteno opterećenje police (navedeno na oznaci tipa uređaja) označava težinu koja se može napuniti na policu pod uvjetom da je ravnomjerno raspoređena. U protivnom to maksimalno dopušteno opterećenje prestaje biti indikativan podatak.

Kao pomoć korisnicima, i da se osigura dugovječnost samog uređaja, police se često opremaju dodatnim elementima u vidu pregrada, kutija i sl., što istina smanjuje nazivnu nosivost pojedine police ali osigurava ravnomjernost raspodjele opterećenja. Opisano je prikazano slikom 15. u nastavku.



Slika 15. Dodatna oprema polica VLM-a [6]

Slika 15. prikazuje dodatnu opremu koju je moguće smjestiti na policu VLM-a kako bi se roba ravnomjerno rasporedila i kako bi se operatoru olakšalo pronalažanje robe na polici.

3.2.4 Korištenje VLM sustava

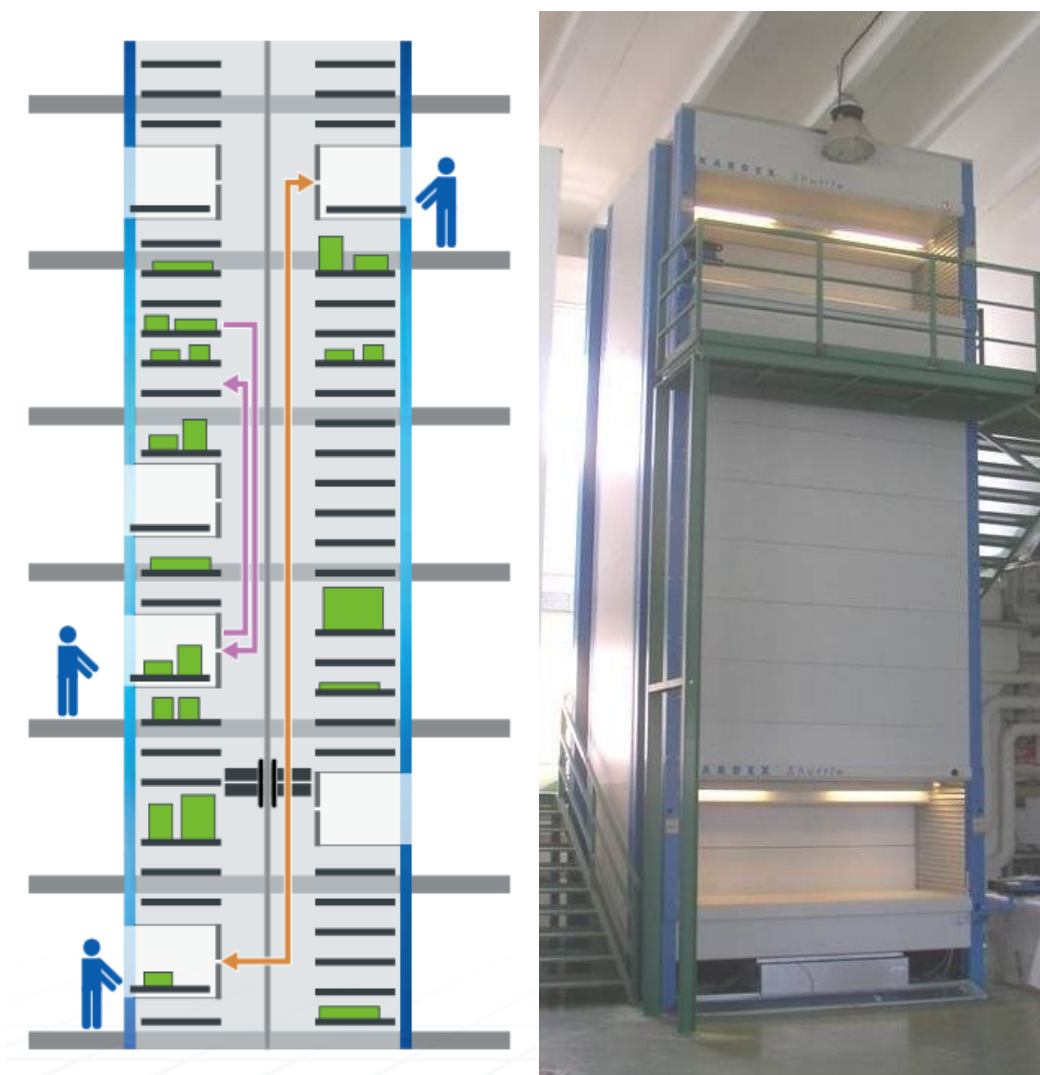
Korištenje VLM skladišnih sustava primarno se ostvaruje pomoću korisničkog sučelja smještenog neposredno uz pristupni otvor [7]. Standardno korisničko sučelje prikazano je slikom 16. Sve naredbe izvršava upravljačko računalo smješteno ispod otvora za izuzimanje.



Slika 16. Korisničko sučelje [6]

Kako se rad upravljačke jedinice temelji na poboljšanjima u ergonomiji i brzini kroz upotrebu automatiziranih sustava za pohranu i komisioniranje omogućeno je jednostavno, intuitivno korisničko sučelje (prikazano slikom 16.) sa zaslonom osjetljivim na dodir. Time je dobiveno osnovno okruženje za upravljanje prostorom te izvješćivanje o radu automatiziranih sustava za pohranu podataka.

To je bilo potrebno jer je krajnji cilj VLM sustava velika modularnost, uz omogućavanje pristupa skladištu na više etaža i od strane većeg broja korisnika kako je prikazano slikom 17. Time se ostvaruje povezanost svih dijelova proizvodnog sustava te VLM sustav na neki način služi kao vertikalni konvejer koji povezuje pojedine dijelove proizvodnje ili samu proizvodnju s distribucijom i nabavom.



Slika 17. VLM sustav izveden kroz više etaža [4], [6]

Slika 17. prikazuje princip rada VLM sustava s više otvora za izuzimanje te primjer izvedbe takvog sustava u poduzeću Podravka iz Koprivnice.

3.2.5 Tehnički podaci VLM sustava – „Shuttle XP“

Kao i kod svakog stroja tako su tehnički podaci o navedenom shuttle sustavu izuzetno indikativni kada se uspoređuje s drugim sličnim sustavima, na temelji njih donosi se odluka što je doista potrebno i u kojoj se mjeri isplati. Stoga će u tablici 1. biti prikazani najznačajniji tehnički podaci iz kataloga proizvođača za tip “Shuttle XP 700” kao uređaj iz sredine ponude i samim time jedan od korištenijih.

Tablica 1. Tehnički podaci za Shuttle XP 700 [6]

Tehnički podatak	Vrijednost
Zahtijevana minimalna visina stropa hale	Visina shuttle jedinice + 20 mm
Visina shuttle jedinice	min. 2550 mm max. 20050 mm
Širina shuttle jedinice	1580 mm - 4380 mm
Dubina shuttle jedinice	2363 mm / 2972 mm / 3125 mm
Visina rastera	100 mm
Brzine kretanja shuttle izvlakača	0,273 m/s
Vertikalna brzina pri 100% opterećenja	0,75 m/s
Vertikalna brzina pri 50% opterećenja	0,90 m/s
Vertikalna brzina, prazan	1,20 m/s
Brzina odlaganja/izuzimanja	0,39 m/s
Pogon shuttle dizala (vertikalno)	4 000 W (trofazna struja)
Pogon shuttle izvlakača (horizontalno)	750 W (trofazna struja)
Pogon sigurnosnih vrata	60 W (trofazna struja) 250 W (trofazna struja) - za širine ladica > 3650 mm

Sigurnosni uređaji	Svjetlosna zavjesa u pristupnom otvoru, sigurnosnim vratima odvojen pogon izvlakača
Razina buke	$\leq 70 \text{ dB} \pm 10 \text{ dB}$
Dopuštena okolišna temperatura	za vrijeme rada $+ 5 \text{ °C}$ do $+ 40 \text{ °C}$ izvan rada -20 °C do $+ 70 \text{ °C}$
Dopuštena relativna vlažnost zraka	10 % do 90 % - pojava kondenzacije nije dopuštena
Maksimalna dopuštena promjena temperature	za vrijeme rada 15 °C/h izvan rada 10 °C/5 min
Zabranjena upotreba	u eksplozivnoj i korozivnoj atmosferi
Minimalna udaljenost od zida	250 mm s obje strane
Ugradnje više jedinica	Jedinice se mogu ugrađivati neposredno jedna do druge, bez razmaka

3.3 Sigurnost rada sa VLM sustavima

Kako bi se izbjegle praktički sve opasnosti pri korištenju VLM sustava, kako za operatera, tako i za same strojeve i pohranjenu robu, zabranjena je nestručna i pogrešna upotreba stroja koja predstavlja zloupotrebu te može dovesti do ozljeda operatera ili kvara/oštećenja stroja.

Kako bi se osigurao siguran i pouzdan rad stroja, primjenjuju se sljedeće zabrane, a neke od njih bit će detaljnije pojašnjene u nastavku [7]:

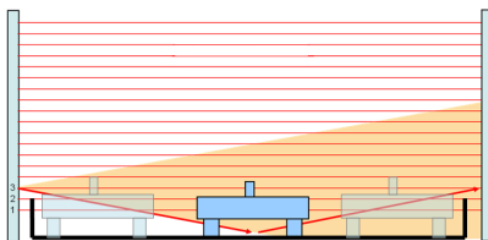
- Zabranjeno je transportirati ljude unutar stroja,
- Zabranjeno je zadržavati se unutar stroja ili unutar pristupnog otvora,
- Zabranjeno je skladištiti robu koja može dovesti do stvaranja lako zapaljive ili eksplozivne atmosfere, osim ako je te roba pohranjena u odgovarajuće posude,

- Zabranjeno je pohranjivati robu bez odgovarajućeg osiguranja od pomicanja,
- Zabranjeno je pohranjivanje prozirnih i reflektirajućih predmeta koji se ne mogu detektirati pomoću sustava za mjerenje visine,
- Vožnja ili sjedenje na ekstraktoru strogo je zabranjena,
- Prekoračenje maksimalnog dopuštenog opterećenja stroja je zabranjeno,
- Prekoračenje maksimalnog dopuštenog opterećenja za ladice je zabranjeno,
- Neujednačeno punjenje ladica je zabranjeno,
- Odlaganje dijelova koji strše preko dna ladice je zabranjeno!

Zabranjeno je pohranjivanje prozirnih i reflektirajućih predmeta

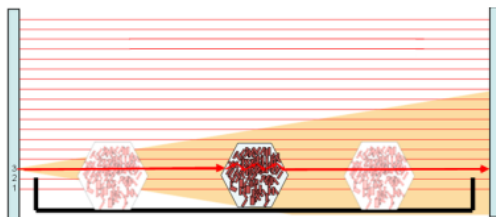
Razlog zabrane pohrane takvih predmeta leži u tome što se oni ne mogu biti detektirani pomoću sustava za mjerenje visine, odnosno laserski detektor prolazi kroz takve predmete ili se reflektira što rezultira netočnim rezultatom mjerenja. Spomenuta problematika prikazana je na slikama 18. i 19.

Sustav za otkrivanje visine postavljen je u stražnji dio pristupnog otvora. Može mjeriti objekte u vertikalnom smjeru od promjera 6 mm na više i s vertikalnim korakom mjerenja od 25mm.



Slika 18. Problem refleksije predmeta [7]

Slikom 18. prikazana je primjer pohrane držača alata. Držač je pričvršćen na 4 metalna stopala, svi su dijelovi sjajni. U tom se slučaju npr. laserska zraka reflektira od dna ladice, tj. detektor visine na svjetlosnoj barijeri detektira zraku kao "ne prekida". Samim time mjerne vrijednosti nisu u skladu s fizičkim činjenicama, jer pohranjeni predmet očigledno izlazi izvan dubine ladice u kojoj je smješten.



Slika 19. Problem prozirnosti predmeta [7]

Slikom 19. prikazana je primjer pohrane odlaganja sjajnih/reflektirajućih komponenti u prozirnom pakiranju. Svjetlosna zraka prolazi kroz vrećicu višestrukim refleksijama, što rezultira efektom svjetlosnog vodiča. Te se na taj način opet “zavarava” detektor visine i mjerne vrijednosti nisu u skladu s fizičkim činjenicama.

Zabranjeno je pohranjivati robu bez odgovarajućeg osiguranja od pomicanja

Kako se za vrijeme korištenja stroja police kreću određenim brzinama i ubrzanjima, dolazi do pojava sila koje neosiguran teret mogu pomaknuti i izbaciti iz ladica sustava. Iz tog razloga svaki teret treba na propisani način osigurati od pomicanja. Opisano je prikazano slikom 20. u nastavku.



Slika 20. Propisno osiguravanje tereta od pomicanja [6]

Slikom 20. prikazano je na koji je način potrebno pravilno osigurati predmete od pomicanja, kada se radi o sitnim, rasutim, predmetima treba ih pohraniti u prikladne posude, dok ako se radi o cilindričnim predmetima, kao što su nosači alata za CNC strojeve, potrebno ih je prikladnim postoljima osigurati od pomicanja.

4. USPOREDBA VLM-OVA I DRUGIH SLIČNIH SUSTAVA

U ovom djelu najprije će se dati pregled jednog vertikalnog karusela “Kardex Megamat RS” koji je po svojoj namjeni sustav jako sličan VLM-u „Shuttle XP“ sustavu koji radi na principu vertikalnih podiznih modula (VLM). Potom će se navesti i opisati razlike između njih, istaknuti prednosti jednih u odnosu na druge i suprotno. Isto će se napraviti i za višetažni horizontalni karusel „Kardex Horizontal Carousel“.

4.1 Vertikalni karusel “Megamat RS”

Megamat RS je automatizirani vertikalni karusel koji koristi princip paternostera, koji će biti detaljnije opisan u nastavku [8]. Koristi koncept "roba k čovjeku" za robu s visokom frekvencijom izuzimanja, posebno je pogodan za često izuzimane proizvode. Spomenuti sustav prikazan je slikom 21.



Slika 21. Kardex Megamat RS [9]

Kako je vidljivo iz slike 21. vertikalni karusel Megamat RS koristi se sistemom košara na koje se smještaju posude ili se predmeti u njih direktno odlažu, košare su ovješene na lančani prijenos koji se pogoni elektromotorom. Princip rada je na rotaciji košara u oba smjera na način kako bi se uvijek osigurao najkraći put a time i najbrži mogući pristup traženoj robi. Košare rotiraju jedna uz drugu tako da je potrebna manja površina poda jer nema potrebe za prolazom za dohvaćanje. Isto tako, ovaj sustav se lako može postaviti kao samostojeći objekt ili se može integrirati u više etažnu zgradu do visine od deset metara s više od jednog pristupnog otvora.

Košare dolaze u velikom broju mogućih izvedbi, od potpuno otvorenih do izvedbe isključivo sa ladicama, izvedba ovisi o potrebama korisnika, veličini, dimenziji i masi skladištene robe kao i o potrebi za osiguravanjem robe od pomicanja, neke od dostupnih izvedbi košara prikazane su na slici 22.



Slika 22. Tri različita tipa košara [9]

Na slici 22. prikazana su tri tipa košare iako ih je dostupno puno više, pošto je izvedba potpuno modularna, dostupne su i košare samo sa pregradama ili policama te sa istaknutim rubom košare za smještaj predmeta sa istaknutom jednom dimenzijom.

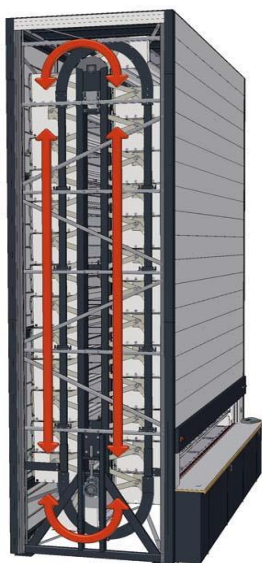
4.2 Usporedba Shuttle XP i Megamat RS sustava

Glavnina razlika između ova dva sustava proizlazi iz metode na koji način skladište robu odloženu kroz pristupni otvor, te samim time na koji način vrše komisioniranje robe iz pohrane.

4.2.1 Značajke skladištenja robe

Kako Shuttle XP sustav robu skladišti/komisionira na principu pokretnih ladica koje automatski sustav smješta na najpovoljnije mjesto unutar skladišne zone, potreban je prolaz za kretanje ladica u vertikalnom smjeru te za njihovo pohranjivanje i izuzimanje iz skladišnog mjesta [7]. Samim time što postoji potreba za tim vertikalnim prolazom povećavaju se dimenzije samog sustava a time za istu količinu robe pada iskorištenost podne površine, naravno ako se radi o istoj visini sustava. Značajna prednost postojanja tog prolaza a time i pokretnih ladica na čijem principu sustav funkcionira je u tome što se pojedinim lokacijama pristupa brzo i kretnje su linearne, dodatna prednost je modularnost pojedinog skladišnog mjesta koje nije fiksno već ovisi o dimenzijama uskladištene robe. Kako je smještaj ladica fleksibilan s korakom od 25 mm osigurana je maksimalna iskoristivost dostupnog volumena jer zauzeće volumena ne ovisi o dimenzijama košare već o stvarnim fizičkim dimenzijama robe koja se skladišti.

Kada se radi o Megamat RS sustavu, kako je opisano on robu skladišti u košarama koje su na fiksnim mjestima i na definiranom razmaku ovisno o koraku lanca i fizičkim dimenzijama pojedine košare [9]. Princip je prikazan na slici 23., a opis je dan u nastavku.



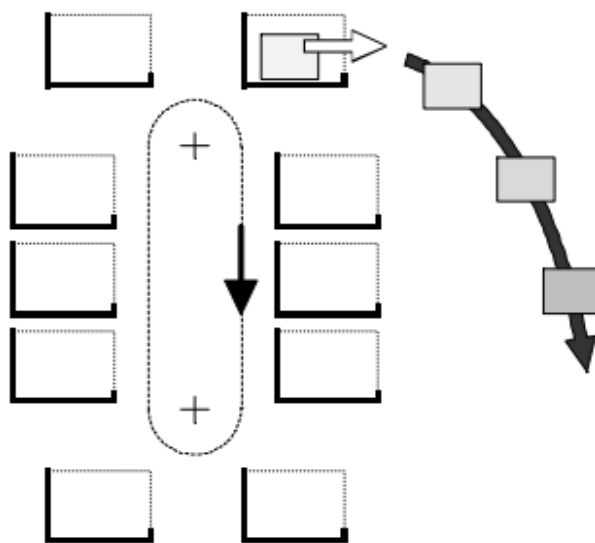
Slika 23. Princip rada Megamat RS sustava – paternoster [9]

Princip prikazan na slici 23. sastavni je dio rada Megamat RS, kako je već istaknuto radi na principu paternostera, paternostera je sustav kretanja posuda spojenih na zajednički lanac oko dva rotacijska upornjaka, jednog na donjem dijelu sustava a drugog na gornjem.

Sada kada je objašnjen princip rada svakog od dva sustava i dana njihova usporedba treba istaknuti prednosti jednog u odnosu na drugi.

4.2.2 Prednosti Shuttle XP sustava

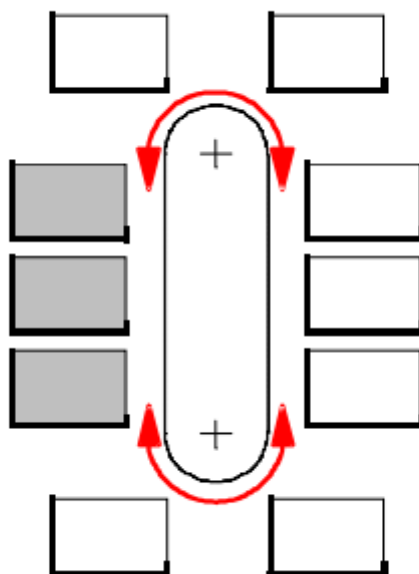
Prema uputstvima proizvođača na prvu je već vidljiva prednost Shuttle XP sustava u odnosu na Megamat, naime postoje neka ograničenja u radu o kojima treba voditi računa prilikom korištenja sustava. Naime sustavom Megamat zabranjeno je pohranjivati robu bez odgovarajućeg osiguranja od pomicanja i to zato što se za vrijeme korištenja stroja on rotira te se kreće određenim brzinama i ubrzanjima, dolazi do pojave sila koje neosiguran teret mogu pomaknuti i izbaciti iz košara sustava [9]. Opisano je prikazano slikom 24. u nastavku.



Slika 24. Pad loše osiguranog tereta [9]

Slikom 24. prikazano je što se može dogoditi uslijed loše osiguranog tereta, prikazano može dovesti do oštećenja samog stroja ali i ostalih uskladištenih dijelova. Automatizirani sustavi za odlaganje/izuzimanje uvijek moraju biti utovareni na način koji sprečava pad pohranjenih dijelova iz ladice. Dodatno se pri smještaju dijelova treba voditi računa o eventualnoj promjeni njihovih dimenzija protekom vremena, sustav treba prilagoditi na sve promjene u pohranjenim dijelovima. Dodatno, treba osigurati da se oštećene košare ne koriste za skladištenje i transport.

Nadalje, zabranjeno je neujednačeno punjenje košara zato što uslijed neujednačenog odlaganja košara može doći do disbalansa cjelokupnog rotacijskog sustava, što dovodi do potrebe za pojačanim radom elektromotora koji pogoni sustav, samim time dolazi do povećanog trošenja pokretnih dijelova sustava i povećane potrošnje energije. Disbalans se javlja uslijed nejednakog smještaja opterećenih košara u prednji odnosno stražnji dio pohrane Megamat sustava kako je prikazano na slici 25.

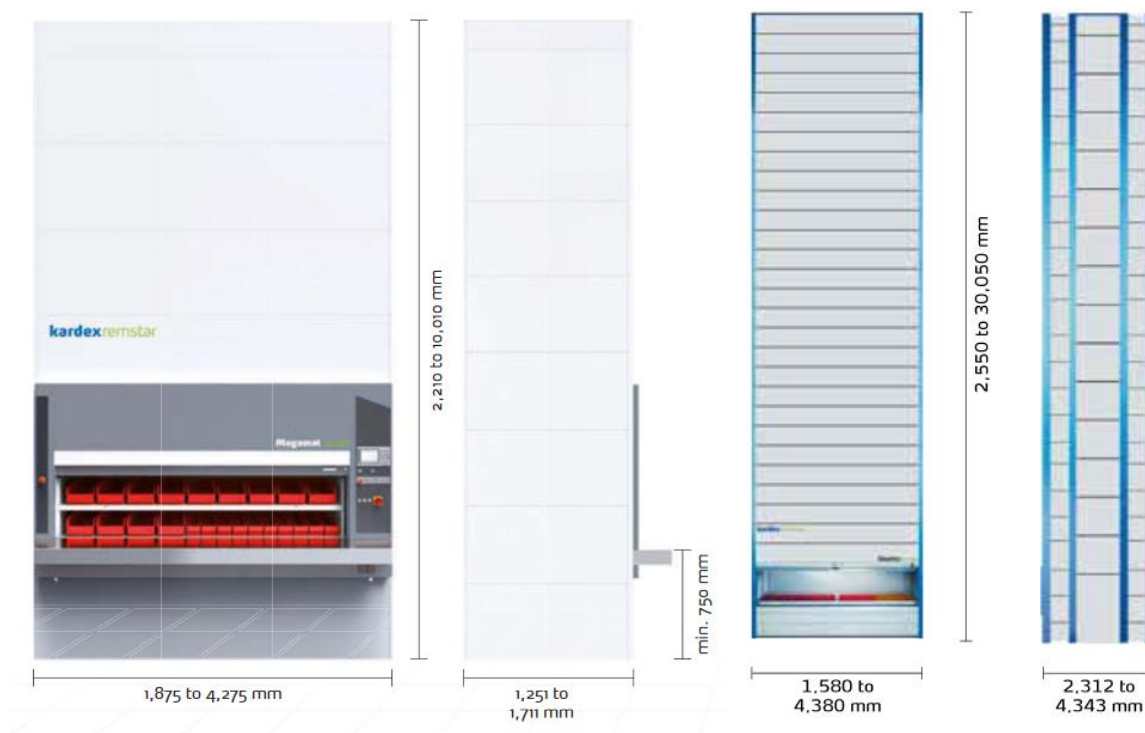


Slika 25. Problem disbalansa sustava [8]

Kako je prikazano slikom 25. do disbalansa dolazi ukoliko se pojavi razlika od 3 ili više popunjenih košara za odlaganje na stražnjoj u odnosu na prednju stranu i suprotno. Točnije do disbalansa dolazi ako se prekorači razlika u opterećenju pojedine strane sustava, a ona u pravilu iznosi tri puta više od maksimalne nosivosti pojedine košare.

4.2.3 Prednosti Megamat RS sustava

Jednostavnost same izvedbe Megamat sustava njegova je najveća prednost, kod njega ne postoji potreba za vertikalnim prolazom za lift koji mora postojati u Shuttle sustavu. Zato je cjelokupan sustav kompaktniji i povoljniji, s time nudi bolje iskorištenje podnog prostora što je značajno ako se nalazi unutar same proizvodnje ili na mjestima gdje je ograničeno širenje. Usporedba dimenzija vidljiva je na slici 25. u nastavku.



Slika 26. Usporedba dimenzija Megamat(lijevo) i Shuttle(desno) sustava [7], [9]

Slika 26. pokazuje kako se dimenzije dubine ova dva sustava značajno razlikuju, sustav Megamat nudi mogućnost puno kompaktnije izvedbe, što je i bilo za očekivati s obzirom na samu izvedbu, razlika je značajna te kod usporedivih dimenzija dubine ladica i košara usporedi ukupna dubina sustava, ona iznosi 601 mm, s time da se dubina dostupnih košara 628 mm odnosno ladica 610 mm što je posebno indikativno da je razlika posljedica širine potrebne za smještaj vertikalnog prolaza kod Shuttle sustava.

Naravno, kao prednost Megamat sustava treba istaknuti i nešto niže cijene osnovne izvedbe u odnosu na usporedivi Shuttle sustav.

4.3 Višeetažni horizontalni karusel

Višeetažni horizontalni karuseli posebna su izvedba klasičnih horizontalnih karusela osmišljena kako bi se što bolje iskoristio raspoloživi visinski prostor proizvodne hale ili skladišta [6]. Naravno, kako i klasični horizontalni karuseli dostupnu dubinu prostora mogu iskoristiti u potpunosti jer im mogućnost izvedbe seže do 50-tak metara u dubinu. Ovakav tip sustava je sveobuhvatniji te može zadovoljiti zahtjeve velikog broja različitih strategija protoka materijala.

U višetažnim karuselima s fiksnim platformama na dvije ili tri etaže, karuseli se izvode u visinama od 2,5 metara složeni jedan na drugi time je omogućeno istovremeno odlaganje i izuzimanje različitim etažama - svaka etaža djeluje neovisno. Kao nadogradnja cjelokupnog sustava transporter se može instalirati kako bi se osigurao protok materijala između različitih etaža. Višetažne stanice s fiksnim platformama su prikladne za maksimalnu visinu prostorije od 9 metara, a njihova izvedba prikazana je slikom 27.



Slika 27. Višetažni horizontalni karusel s fiksnim platformama [6]

Slikom 27. prikazan je pokazni primjer izvedbe višetažnog horizontalnog karusela u fiksnim platformama izvedenim u dvije etaže.

Drugi tip izvedbe ovakvog tipa sustava je izvedba s podiznom platformom, Takvom izvedbom može se ostvariti ukupna visina sustava od 4,5 m. Podizna platforma uvijek dovodi operatora na odgovarajuću visinu za ergonomsko izuzimanje. Kako bi se optimiziralo upravljanje vremenom, visina instalacije podijeljena je u dvije do tri zone podizanja sustava, dok je sami horizontalni karusel izveden kao uniformna jedinica bez obzira na ukupnu visinu cjelokupnog sustava. Opisano je prikazano slikom 28.



Slika 28. Višeetažni horizontalni karusel s podiznom platformom [6]

Princip sustava prikazanog slikom 28. je da se sve košare istovremeno pokreću, operater vrši izuzimanje robe iz svih košara koje su mu dostupne s obzirom na visinsku poziciju platforme prije no što se podizna platforma pomakne na sljedeću zonu. Kada kompletira zaprimljene narudžbe platforma se spušta u donji položaj i roba se pomoću određene vrste transportera može odvesti i novi ciklus izuzimanja može započeti.

4.4 Usporedba Shuttle XP-a i višeetažnog horizontalnog karusela

Najjasnija razlika između ova dva sustava proizlazi iz njihova prostornog smještaja, Shuttle XP se bazira na vertikalnoj pohrani robe pri tome zauzimajući što manju tlocrtnu površinu. Dok se višeetažni horizontalni karuseli baziraju na pohrani robe u dubinu prostorije (slijepih dijelova hale ili kao nadogradnja na vanjske zidove hale) time omogućujući visoku gustoću skladištenja robe. Ipak, glavnina razlika između ova dva sustava, slično kao i kod prethodno spomenutog Megamat RS sustava proizlazi iz metode na koji način skladište robu odloženu kroz pristupni otvor, te samim time na koji način vrše komisioniranje robe iz pohrane [6].

Oba sustava, naravno, imaju svoju primjenu u praksi, iako valja naglasiti da je Shuttle daleko zastupljeniji, a u Hrvatskoj je to posebno slučaj. Razlog tomu je što je shuttle u Hrvatskoj primarno našao ulogu kao skladište reznog alata, raznih matrica za štanice, kalupa ili pak specifične opreme i pakiranja u farmaceutskoj industriji. Korisnici ga zbog male potrebne tlocrte površine smještaju direktno uz proizvodne i montažne linije kako bi osigurali brz pristup često korištenim alatima i/ili materijalima. Kada je ušteda tlocrtna površina i fleksibilnost smještaja primaran kriterij jasno je zašto u praksi nema previše višetažnih horizontalnih karusela iako nude veću gustoću slaganja robe i modularnost izvedbe. Kod modularnosti misli se na veću paletu spremnika, mogućnost pohranjivanja puno više i nezgrapnije robe.

5. VERTIKALNI PODIZNI MODULI U PRAKSI

Kroz ovo poglavlje opisat će se praktični pogled na vertikalne podizne module, problematika koja je prisutna prilikom njihovog projektiranja, montaže i same eksploatacije. Sve izneseno odnositi će se na Kardex-ov vertikalni podizni modul – „*Shuttle XP*“ iz razloga koji je već istaknut, kao najzastupljeniji VLM sustav u Hrvatskoj.

Prikazat će se postupak izračuna vremena potrebnog za izuzimanje/odlaganje pojedine police te potrebnog broja elemenata s obzirom na definirane gabarite uređaja. Opisat će se postupak montaže jednog takvog uređaja u praksi i problematika koja se najčešće javlja u radu opisanih uređaja.

Nadalje, na temelju provedenih mjerenja radnih parametara, vremena, napraviti će se analiza i usporedba između empirijskih podataka i podataka dobivenih analitičkim izračunima i simulacijskim modelima.

5.1 Proračun dimenzija i vremena za Shuttle XP

Svaki Shuttle uređaj proračunava se zasebno u ovisnosti o zahtjevima i potrebama krajnjeg korisnika, fizičkim ograničenjima prostora i nakraju investicijskim ograničenjima [10]. Kroz jednadžbe u nastavku prikazano je na koji se način određuju gabaritne dimenzije uređaja Shuttle XP 700 u ovisnosti o zahtjevanim dimenzijama samih ladica (polica) sustava koje proizlaze iz karakteristika robe koja će se unutar shuttla pohranjivati.

Izračun dimenzija uređaja Shuttle XP 700 vrši se pomoću sljedećih jednadžbi [10]:

$GB = TB + 330 \text{ mm}$ $GT = (3 \times TT) + 533 \text{ mm}$ $X = TT - 335,3 \text{ mm}$ $Y = TT + 793,3 \text{ mm}$
--

GB – Širina uređaja [mm]

TB – Širina ladice [mm]

GT – Dubina uređaja [mm]

TT – Dubina ladice [mm]

X – Razmak vanjskih teretnih profila

Y – Razmak unutarnjih teretnih profila

Tablica 2. Dimenzije Shuttle XP 700 [10]

GB – Širina uređaja [mm]	GT – Dubina uređaja [mm]	TT – Dubina ladice [mm]	X [mm]	Y [mm]
TB + 330 mm	2363	610	274,7	1403,3
	2972	813	477,7	1606,3
	3125	864	528,7	1657,3

Tablicom 2. prikazane su dimenzije uređaja u ovisnosti o odabranoj dimenziji ladica, stoga se može zaključiti kako je ladica zapravo osnova iz koje se polazi s dimenzioniranjem cjelokupnog sustava kako po pogledu gabarita tako i u pogledu zahtijevanih snaga pogonskih elemenata. Dimenzije ladica kod modela XP 700 kreću u širinama od 1 250 do 4 050 mm te u dubinama od 610 do 1 270 mm.

Nakon što je odrađen proračun dimenzija Shuttle uređaja pristupa se proračunu vremena pristupa ladicama, prosječnom i maksimalnom. Za Shuttle XP 700 koriste se sljedeće formule [9]:

$$T_{\phi} \approx (GH / X_t) + Z_t$$

$$T_{max} \approx (GH / Y_t) + Z_t$$

T_{ϕ} – Prosječno vrijeme pristupa ladici u sekundama,

T_{max} – Maksimalno vrijeme pristupa ladici u sekundama,

GH – Visina uređaja u metrima,

X_t , Y_t , Z_t – Pomoćni faktori za proračun vremena /brzine.

Spomenute pomoćne faktore definira sam proizvođač Kardex te su vezani za određeni tip Shuttle uređaja i dani su tablično kako bi brzo i jednostavno pomogli pri proračunu vremena bitnih krajnjem korisniku. U tablici 3. u nastavku prikazani su pomoćni faktori potrebni za proračun vremena na pokaznom primjeru – Shuttle XP 700. Faktori X_t i Y_t odnose se na ekvivalent brzine putovanja manipulacijskog uređaja po srednjoj stazi vertikalnog podiznog modula te su izraženi u metrima po sekundi (m/s). Nadalje, faktor Z_t odnosi se na specifična vremena putovanja manipulacijskog uređaja u horizontalnom smjeru, odnosno vrijeme potrebno za izuzimanje ladice iz skladišne jedinice i njezino odlaganje na radni otvor, direktno je vezan za dubinu same ladice i izražava se u sekundama (s).

Tablica 3. Iznosi pomoćnih faktora kod proračuna uređaja Shuttle XP 700 [10]

Dubina ladice [mm]	Pomoćni faktor	Tip pogona / nazivno opterećenje ladice
		XL Pogon / 700 kg po ladici – „XLD700“
610	X_t	0,80 m/s
	Y_t	0,40 m/s
	Z_t	29,50 s
813	X_t	0,80 m/s
	Y_t	0,40 m/s
	Z_t	32,00 s
864	X_t	0,80 m/s
	Y_t	0,40 m/s
	Z_t	32,50 s

Proizvođač Kardex daje neke bitne napomene vezane za proračun vremena pristupa kako bi se krajnjem korisniku dala što točnija informacija koja vremena može očekivati u radu s konkretnim uređajem. Napomene su sljedeće [10]:

- Brzine kretanja manipulatora u horizontalnom i vertikalnom smjeru podešene su na 100% mogućnosti pogona
 - Postavka brzine na 100% nije preporučljiva za određene tipove roba (npr. elektroničke komponente) stoga svi uređaji imaju predefiniranu brzinu od 70% ako će manipulirati takvom robom
- Postavka sigurnosnih vrata je tvornički stavljena na „zatvorena kod kretanja lifta“, što znači da su otvorena dok traje komisioniranje na radnom otvoru
 - Ako se radi o uređaju s dva ili više radna otvora ili je tako tražio korisnik, sigurnosna vrata mogu raditi na postavci „uvijek zatvorena“, posljedica toga je da sva vremena rastu za cca 5 sekundi po operaciji
- Upravljanje težinama nije uključeno
 - Kada je ova opcija uključena vrijeme po pojedinoj operaciji raste za cca 5 sekundi

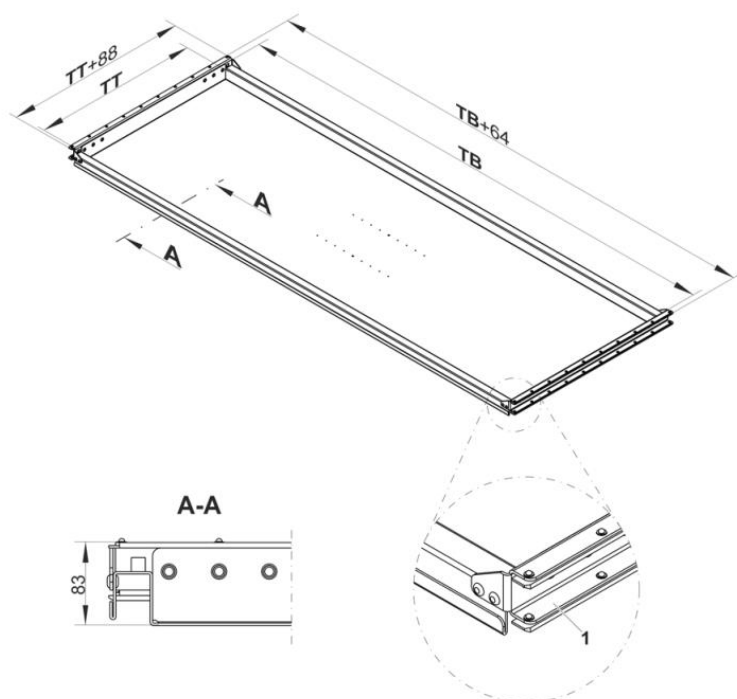
- Kada se na velikom broju polica skladišti jako visoka roba, vremena pristupa mogu se produžiti zbog dužeg vremena potrebnog za odrađivanje kalkulacije koje obavlja upravljačko računalo.
- Ako se uređaj izvede bez sigurnosnih vrata vremena pristupa moguće je smanjiti za cca 3 sekunde po operaciji

Kada se odrede svi parametri i ograničenja dobiva se određeno vrijeme potrebno za pristup ladicama, to vrijeme je analitički dobiveno i kako takvo se dostavlja korisniku, naravno određena vremena u praksi nisu u potpunosti usklađena s analitičkim.

5.1.1 Primjer proračuna

Početni korak kod svakog proračuna je određivanje tipa ladice koji će se koristiti za skladištenje robe unutar shuttle uređaja te temeljem težina robe koja se skladišti odrediti tip pogona koji je potrebno ugraditi kako bi uređaj mogao odraditi manipulaciju sa zahtijevanim opterećenjima. Ulazni parametri potrebni za proračun su sljedeći:

- Maksimalna visina robe koja će se skladišti: cca 200 mm – LGH
- Maksimalna mase robe po pojedinoj ladici: 650 kg
- Dostupna svijetla visina hale za smještaj uređaja: 7 200 mm



Slika 29. Odabrani tip ladice za Shuttle XP [7]

1 – Plastične klizne papuče, služe za lakše odlaganje/izuzimanje same ladice

Na slici 29. prikazan je odabrani tip ladice s obzirom na ulazne parametre, radi se o konstrukcijski najčvršćoj izvedbi – „Strong XL“. Nosivost odabrane ladice je 685 kg, a masa same ladice bez robe je 53 kg. Dimenzije odabrane ladice su 2050 x 864 mm.

Sad kada je određen tip ladice koja će se koristiti za skladištenje robe unutar shuttle uređaja pristupa se određivanju potrebnog visinskog rastera ladica, korisnih unutarnjih visina uređaja te prema tome potrebnom broju ladica.

Proračun početnih visina:

$$GH = RH - 20 \text{ mm}$$

$$GH = 7200 - 20 \text{ mm} = 7180 \text{ mm}$$

$$\mathbf{GH = 7050 \text{ mm}}$$
 (zaokružuje se na prvi manji broj sa zadnje dvije znamenke 50)

$$TBA = LGH + SA$$

$$TBA = 200 + 20 = 220 \text{ mm}$$

$$\mathbf{TBA = 225 \text{ mm}}$$
 (zaokružuje se na inkremente od 25 mm)

GH – ukupna visina shuttle uređaja

RH – dostupna svijetla visina hale

TBA – visina potrebna za smještaj ladice

SA – sigurnosni razmak

Proračun neto korisnih visina uređaja:

$$X_v = 396 - TBA \text{ za } TBA \leq 325 \text{ mm, inače } X_v = 60 \text{ mm za } TBA > 325 \text{ mm}$$

$$TBA = 225 \text{ mm} \rightarrow X_v = 396 - 225$$

$$\mathbf{X_v = 171 \text{ mm}}$$

$$NHr = GH - 779 - X_v$$

$$NHr = 7050 - 779 - 171 \rightarrow \mathbf{NHr = 6100 \text{ mm}}$$

$$NHfu = GH - TH - OH - X_v$$

$$NHfu = 7050 - 833 - 996 - 171 \rightarrow \mathbf{NHfu = 5050 \text{ mm}}$$

$$NHfl = TH - 558$$

$$NHfl = 833 - 558 \rightarrow \mathbf{NHfl = 275 \text{ mm}}$$

X_v – pomoćni parametar ovisnosti o visini potrebnoj za smještaj ladice

NHr – neto korisna visina za smještaj ladica u zadnjoj stazi uređaja

NHfu – neto korisna visina za smještaj ladica u prednjoj gornjoj stazi uređaja

NHfl – neto korisna visina za smještaj ladica u prednjoj donjoj stazi uređaja

TH – visina praga radnog otvora (standardno – 833 mm)

OH – visina radnog otvora

Proračun broja ladica:

$$Tr = NHr / TBA = 6100 / 225$$

$$Tr = 27,11 \rightarrow \mathbf{Tr = 27 kom}$$

$$Tfu = NHfu / TBA = 5050 / 225$$

$$Tfu = 22,44 \rightarrow \mathbf{Tfu = 22 kom}$$

$$Tfl = NHfl / TBA = 275 / 225$$

$$Tfl = 1,22 \rightarrow \mathbf{Tfl = 1 kom}$$

$$T = Tr + Tfu + Tfl$$

$$\mathbf{T = 50 kom}$$
 (ukupan broj ladica za udaljenost između ladica 225 mm)

Tr – broj ladica s zadnje strane uređaja

Tfu – broj ladica s gornje prednje strane uređaja

Tfl – broj ladica s donje prednje strane uređaja

T – ukupan broj ladica

Proračun pristupnih vremena:

Za početak proračuna pristupnih vremena potrebno je odabrati tip i vrstu pogona koji će odrađivati operacije odlaganja/izuzimanja, kako se radi o relativno velikim masama koje će se smještati na pojedinu ladicu odabran je pogon „XLD700“.

$$T_{max} = (GH / Y) + Z$$

$$T_{max} = (7,05 / 0,40) + 32,50$$

$$T_{max} = 50,125 \text{ s (na vrijeme dobiveno proračunom dodaje se cca 5 s zato što je korisnik tražio da sigurnosna vrata rade na postavci „uvijek zatvorena“)}$$

$$\mathbf{T_{max} \approx 55 s}$$

$$T_{\phi} = (GH / X) + Z$$

$$T_{\phi} = (7,05 / 0,80) + 32,50$$

$$T_{\phi} = 41,313 \text{ s (na vrijeme dobiveno proračunom dodaje se cca 5 s zato što je korisnik tražio da sigurnosna vrata rade na postavci „uvijek zatvorena“)}$$

$$\mathbf{T_{\phi} \approx 46 s}$$

Proračunom vremena potrebnih za pristup ladicama završen je proračun parametara bitnih za krajnjeg korisnika te se nakon prihvaćanja tehničke izvedbe uređaja i njegove proizvodnje i dobave na lokaciju može pristupiti postupku montaže, opisanom u nastavku.

5.2 Postupak montaže Shuttle XP sustava

Postupak montaže jednog Shuttle sustava započinje nakon što su završeni svi građevinski i pripremni radovi, ako se radi o montaži u sklopu nove hale kao što je u ovome primjeru slučaj. Primarno je da je podloga na koju će se montirati uređaj bude zadovoljavajuće kvalitete, debljine, a time i nosivosti jer jedan Shuttle uređaj u pravilu teži i nekoliko desetaka tona kada je opterećen, odnosno „pun“. Ovaj zahtjev definira i proizvođač kroz svoju izlaznu kalkulaciju potrebnih uvjeta za smještaj uređaja u sklopu tehničkih podataka samog sustava kako je prikazano na slici 30.

1 Shuttle XP700 2050 x 864 x 7050

Technical Data:

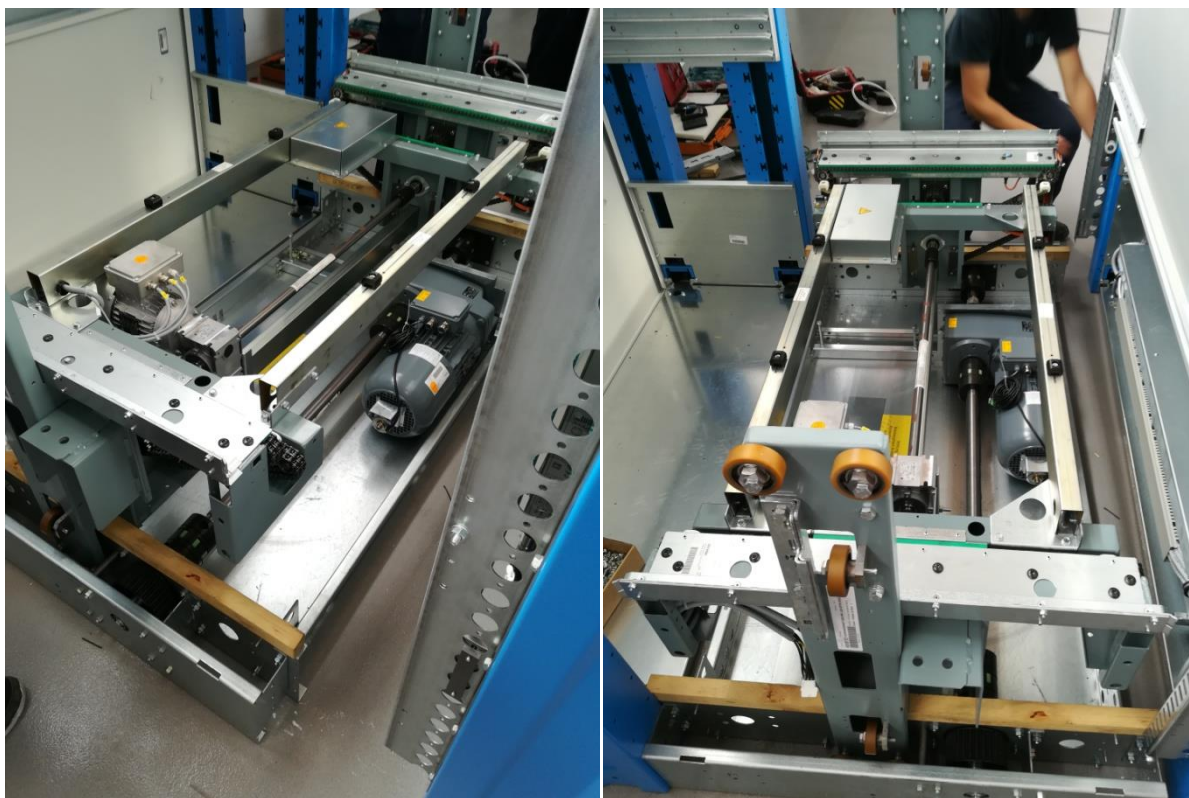
Unit outside dimensions W x D x H [mm]:	2380 x 3125 x 7050
Base [m ²]:	7,44
Unit dead weight [kg]:	2889
Useable load net [kg]:	34250
Total load gross [kg]:	2x33500
Surface pressure max. [N/mm ²]:	6,13
Access time: average [s] t ~	46
Safety distance [mm]:	20
Volt:	3/N/PE400
Hz:	50/60
KVA:	15
Supporting contact surface [cm ²]:	1120
Total unit weight [kg]:	39789
Useable load gross [kg]:	36900
	maximum [s] t ~
	55
	Ampere:
	23

Slika 30. Tehnički podaci za Shuttle XP 700

Slikom 30. prikazan je dio tehničkih podataka koje proizvođač dostavlja uz pojedini uređaj a indikativni su za uspješan početak montaže. Najbitniji podatak je deklarirano maksimalno opterećenje podloge, i u ovom primjeru iznosi 6,13 N/mm², odnosno 6.130.000 Pa koje proizlazi od smještaja potpuno opterećenog shuttla na temeljne stope ukupne površine 1120 cm². Temeljem tog podatka utvrđuje se da li predviđena podloga zadovoljava te se u slučaju pozitivnog ishoda može započeti sa samom montažom.

Prvi korak nakon zadovoljavanja svih tehničkih zahtjeva je određivanje prostornog smještaja samog uređaja s obzirom na izvedbeni projekt i eventulana fizička ograničenja same hale gdje se uređaj montira. Nakon što je utvrđen točan tlocrtni položaj, pripremljeni segmenti uređaja pozicioniraju se i međusobno povezuju.

Prvi dio koji se pozicionira je baza zadnje kolone uređaja, segment uređaja koji služi isključivo za odlaganje ladica uređaja, definira se odmak od zida pomoću distantnika izrađenih na točnu mjeru. Potom se s tom bazom poravna i poveže srednji segment baze koji sadrži sami manipulacijski uređaj – lift te se na povezana ta dva segmenta nakon poravnavanja i pozicioniranja povezuje i zadnji segment baze – prednja kolona. Prednja kolona dolazi sastavljena i sadrži upravljačko računalo i upravljačku elektroniku te radni otvor sa sigurnosnim vratima i njihovim pokretačkim mehanizmom. Opisano je prikazano na slici 31. u nastavku.



Slika 31. Pozicioniranje baze Shuttle sustava

Slikom 31. prikazano je formiranje baze Shuttle sustava. Na slici se vidi da je sam lift u ovoj fazi montaže osiguran od pomicanja drvenim prečkama kako nebi došlo do oštećenja tokom pozicioniranja. Segmenti baze međusobno se povezuju vезnim limovima i matičnim te „pleh vijcima“.

Nakon što je oformljena baza Shuttle sustava pristupa se njezinom visinskom ugađanju. Svi segmenti baze moraju se postaviti u potpuno vodoravan položaj te se međusobno visinski uskladiti. Opisano je prikazano slikom 32. u nastavku.



Slika 32. Postupak niveliranja Shuttle sustava

Niveliranje shuttle sustava provodi se korištenjem samonivelirajućeg laserskog žiroskopa i pripadajućih naočala kako prikazuje slika 32. Laser se pričvrsti na pomoćno postolje otprilike u ravnini gornjeg ruba baze kako bi ocrtao laserske zrake na noseće profile. Potom se nivelirajućim stopama kompletna baza sustava nivelira dok se ne dobije potpuna okomitost nosećih profila s podlogom. To je ujedno i ključno postići u ovom koraku montaže jer i najmanje kutno odstupanje na uređaju visine 7 metara bi dovelo do problema u samom radu, povećanog trošenja određenih komponenti time i češće potrebe za servisom te bi sustav bio nepouzdaniji i potencijalno nesigurniji.

Nakon što je baza nivelirana pristupa se temeljenju kompletne baze, shuttle uređaj se za podlogu temelji posebnim anker vijcima, vijci sadrže određeno kemijsko punjenje koje se prilikom klinjenja vijaka u podlogu oslobodi iz kapsula i osigurava permanentnu vezu vijka s betonom. Temeljenje se obavlja u 8 točaka, na način da se matičnim spojem ostvari veza između temeljne stope shuttle uređaja i temeljnog vijka koji je uklinjen u podlogu. Prikaz temeljnog vijka dan je na slici 33. u nastavku.



Slika 33. Temeljenje Shuttle uređaja

Slikom 33. prikazana je izvedba temeljenja Shuttle uređaja s podlogom, vidljiv je temeljni vijak koji je matičnim spojem vezan za temeljnu ploču baze uređaja.

Nakon što je shuttle uređaj osiguran od pomicanja, pristupa se montaži vertikalnih stupova, vodilica za ladice, srednje staze i pokrovnih limova kako bi se uređaj doveo do visine za koju je projektiran. Monteri se u ovoj fazi montaže služe mobilnom skelom kako vanjskom tako i unutarnjom koja se kači između oformljenih stupova.



Slika 34. Visinsko formiranje Shuttle uređaja

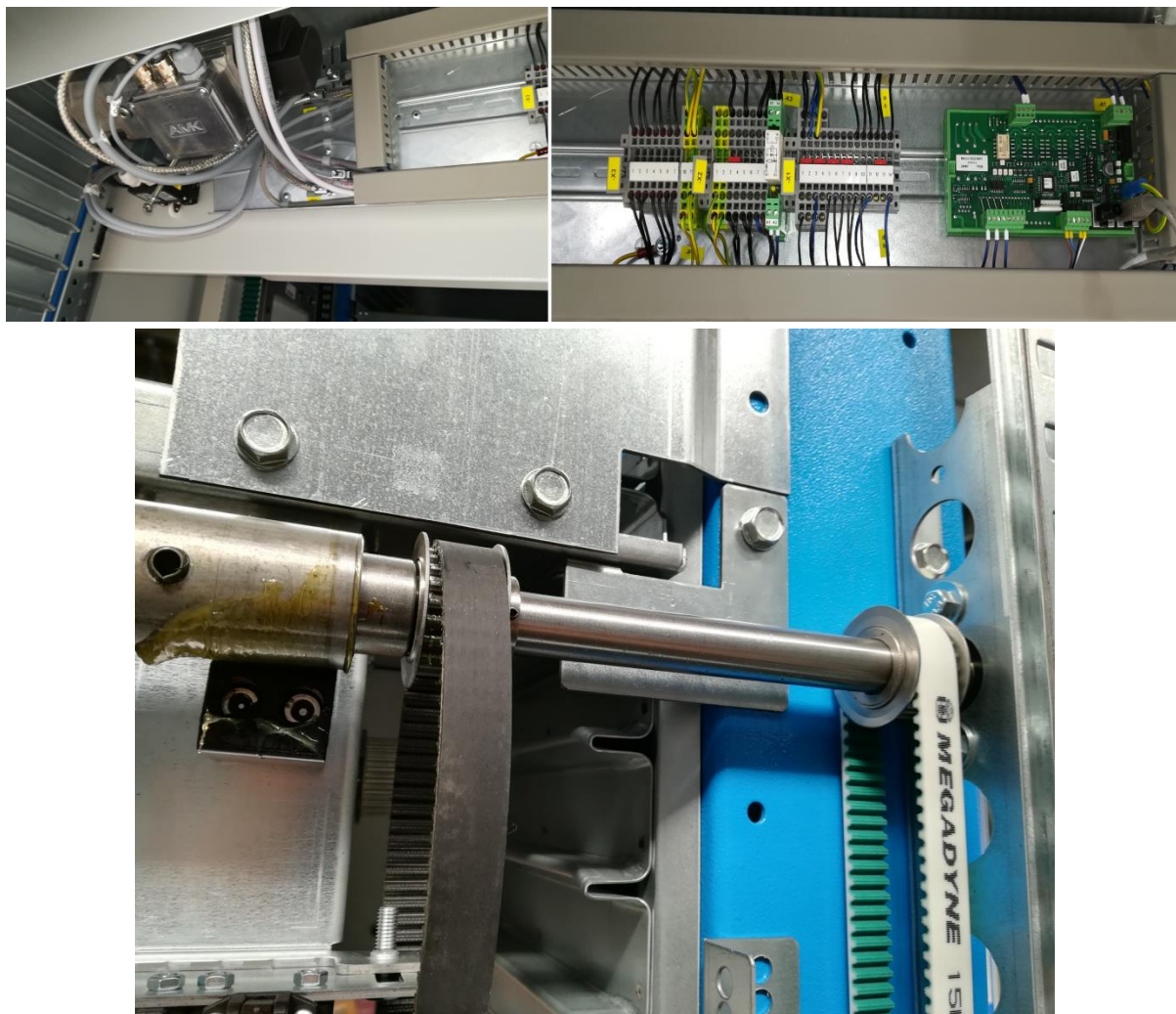
Slika 34. prikazuje izgled shuttle uređaja nakon što su montirani vertikalni stupovi i pokrovni limovi. Na slici je vidljiva spomenuta mobilna skela koja je potrebna kako bi se prednje i stražnje staze za odlaganje mogle montirati. Na slici je vidljivo kako su sve skladišne pozicije „prazne“ odnosno nema ladica uređaja, ladice se u uređaj dodaju zadnje i to koristeći se radnim otvorom. U nastavku na slici 35. vidljiv je shuttle uređaj u visokoj fazi završenosti.



Slika 35. Shuttle uređaj u visokoj fazi završenosti

Slikom 35. prikazan je shuttle uređaj pri završetku montaže, uređaj je u potpunosti formiran, ostvarena je visina koja je predviđena proračunom. Prednja i stražnja strana uređaja zatvorena su pokrovnim limovima instaliran je zupčasti remen preko kojeg se pogoni lift. Bočne strane nisu zatvorene kako bi se u fazi umetanja ladica i u fazi testiranja mogao promatrati rad uređaja i eventualno raditi sitne dorade. Zadnji korak prije umetanja samih

ladica u uređaj je testiranje i ugađanje sigurnosnih vrata. Pogon sigurnosnih vrata, elektromotor i upravljačka elektronika te zupčasti remeni koji osiguravaju sinkronost pokreta gornje i donje polovine vrata prikazani su na slici 36.



Slika 36. Pogon i elektronika sigurnosnih vrata

Sigurnosna vrata shuttle uređaja imaju svoj zaseban pogon i upravljačku elektroniku kako je prikazano na slici 36. Time osiguravaju svoju primarnu ulogu, a to je zaštita operatera na uređaju u toku rada manipulacijskog uređaja – lifta, za vrijeme njegovog rada moraju biti u potpunosti zatvorena, dok se za vrijeme dok je ladica isporučena na radni otvor mogu programirati u ovisnosti o potrebama korisnika. Svaka polovina sigurnosnih vrata ima po 4 mikroprekidača kako bi se ustanovio pravilan položaj vrata u svakoj fazi, po 2 mikroprekidača nalaze se lijevo i desno.

U nastavku na slikama 37. i 38. detaljnije je prikazan pogon samog manipulacijskog uređaja kako bi se stekao bolji dojam o izvedbi pogona dizala i ekstraktora.



Slika 37. Pogon manipulacijskog uređaja

Na slici 37. prikazan je pogon manipulacijskog uređaja, desno je vidljiv elektromotor glavnog pogona, koji preko zupčastog remena podiže i spušta lift. Spomenuti elektromotor napajan je tro-faznom strujom i veće je snage od samog pogona ekstraktora koji odlaže ili izuzima ladice iz skladišnih pozicija. Pogon ekstraktora prikazan je na slici 38. u nastavku.

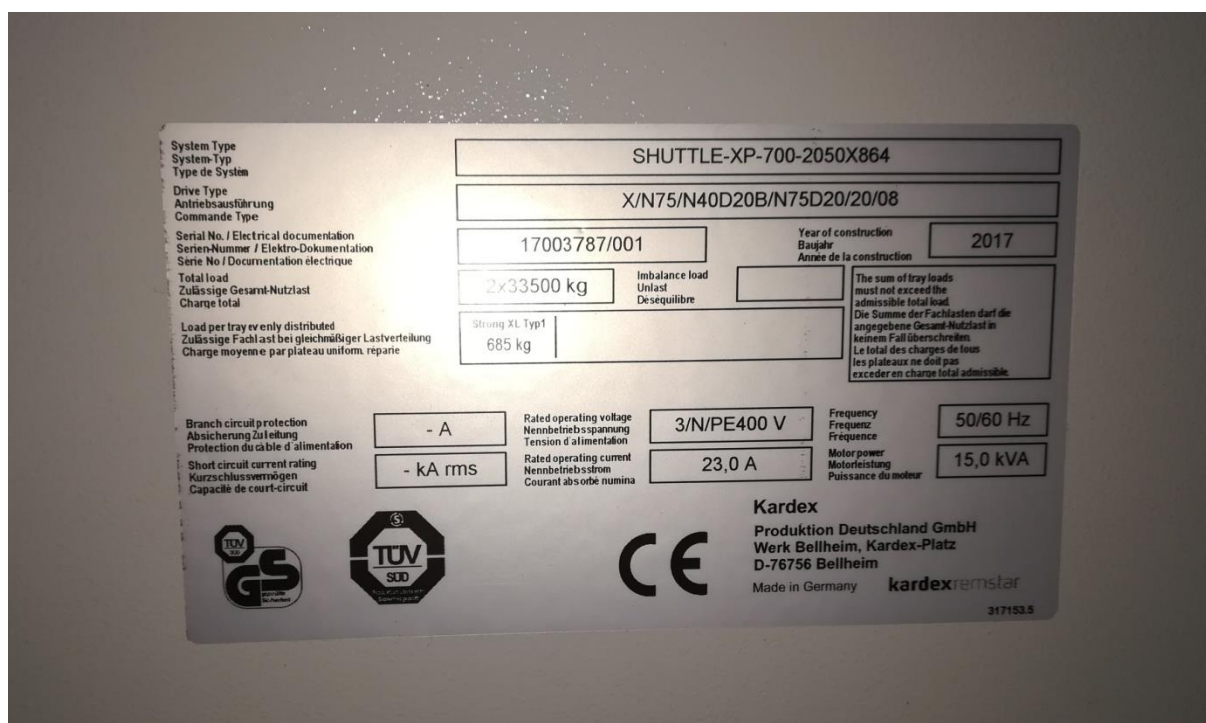


Slika 38. Pogon ekstraktora

Pogon ekstraktora prikazan na slici 38. je servomotor koji preko zupčanika pogoni lanac koji dalje pogoni sklop ekstraktora. Ovdje ja na taj način također osigurana sinkronost broja okretaja servomotora s položajem samog ekstraktora – izvlakača ladica.

5.3 Parametri rada Shuttle XP uređajima ostvareni u praksi

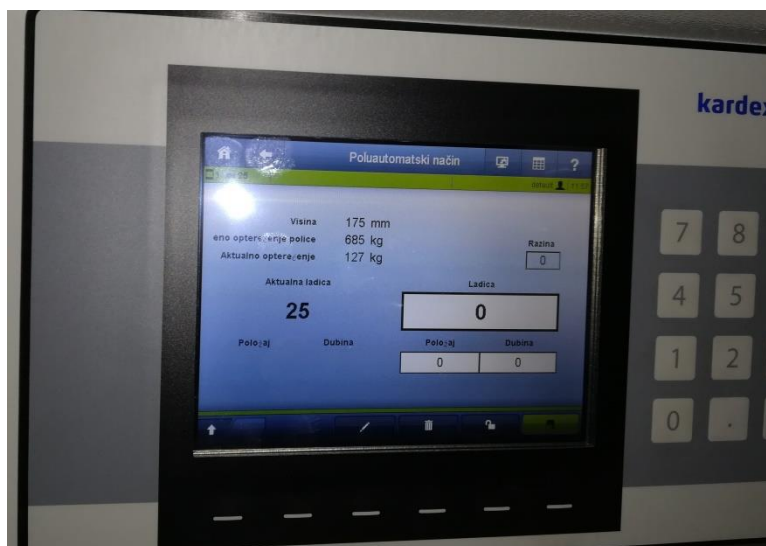
Kroz ovo poglavlje tablično će se prikazati rezultati ostvareni mjerenjem realnih vremena iz prakse. Objasniti će se bitne značajke koje utječu na vremena radnih ciklusa uređaja u praksi te prikazati princip mjerenja i pobliže objasniti vremena koja čine radni ciklus. Ukupno je provedeno 150 mjerenja radnih ciklusa na uređaju „Shuttle XP 700“ čija je natpisna pločica tehničke specifikacija prikazana slikom 39.



Slika 39. Natpisna pločica za „Shuttle XP 700“

Pločica pruža informacije o tipu i dimenzijama uređaja, tipu i izvedbi pogona, godini proizvodnje, dozvoljenim opterećenjima i dr.

Kod mjerenja vremena radnih ciklusa shuttle uređaja uzimalo se puno trajanje ciklusa od trenutka zadavanja zahtjeva za određenom ladicom preko upravljačke jedinice sve do trenutka kada je uređaj isporučio ladicu na radni otvor i zatvorio sigurnosna vrata. Izgled upravljačke jedinice instalirane na promatranom uređaju prikazan je na slici 40. u nastavku.

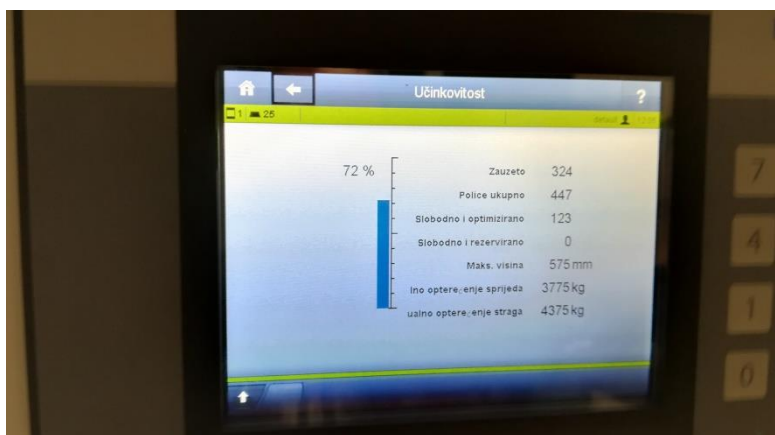


Slika 40. Upravljačka jedinica uređaja

Upravljačka jedinica prikazana slikom 40. sastoji se od ekrana osjetljivog na dodir preko kojeg se pristupa modovima rada uređaja i preko kojeg se sam uređaj programira te numeričke tipkovnice koja služi za upis broja ladice koji se želi pozvati kada uređaj radi u poluautomatskom režimu rada. Dodatno ovaj tip upravljačke jedinice ima fizičke tipke za izbornik smještene ispod donjeg ruba ekrana.

Iz slike 40. vidljivo je ranije spomenuto mjerenje visini ladice, odnosno robe smještene na ladicu, konkretna visina ladice sa slike je 175 mm i uređaj kada ju pohranjuje traži poziciju u prednjoj ili stražnjoj skladišnoj koloni na koju može smjestiti aktualnu ladicu. Pri tome nije nužno da se radi o poziciji s koje se aktualna ladica izuzeta, ako je ta pozicija najbliža radnom otvoru vratit će ju na nju, no ako postoji neka lokacija koja je bliža radnom otvoru shuttle će aktualnu ladicu odložiti na tu, bližu, lokaciju.

Dodatna značajka u radu shuttle uređaja vidljiva iz slike 40. je mjerenje mase svake pojedine ladice kako ne bi došlo do preopterećenja same konstrukcije ladice i kako bi uređaj znao u koju kolonu je optimalno smjestiti svaku pojedinu ladicu, Opterećenje svake pojedine kolone uređaja moguće je vidjeti preko izbornika, konkretno modula koji bilježi učinkovitost rada, odnosno iskorištenje skladišnih kapaciteta uređaja, kako po pogledu volumena tako i po pogledu uskladištenih masa, opisano je prikazano slikom 41. u nastavku.



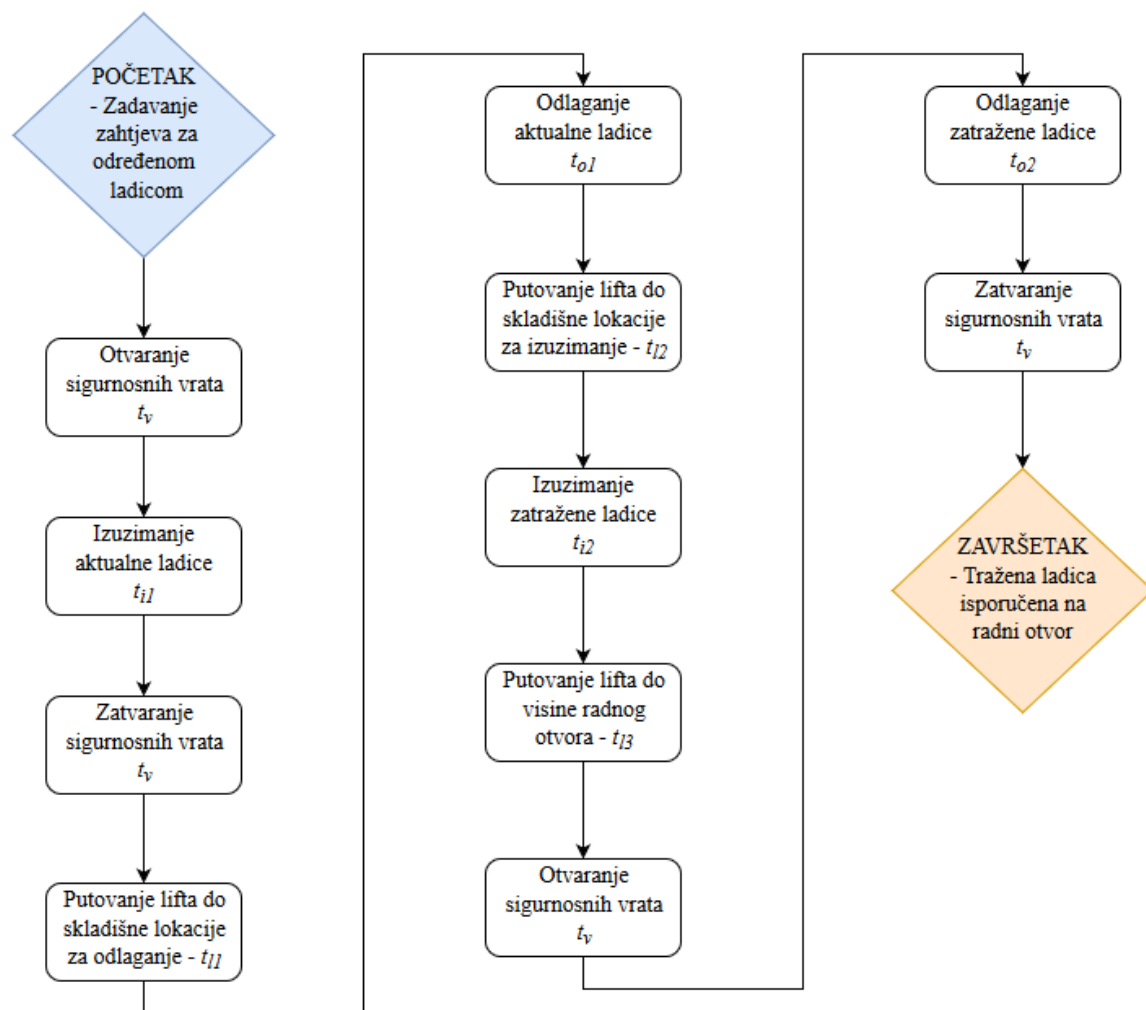
Slika 41. Modul za praćenje učinkovitosti uređaja

Slikom 41. prikazan je izgled modula za praćenje učinkovitosti uređaja, brojka od 72% govori u kojoj su mjeri zauzeta mjesta za odlaganje ladica, ukupno je u uređaj instalirano 447 mjesta za odlaganje a trenutno je u uređaju zauzeto 324 mjesta. To ne znači da je u uređaj smješteno 324 ladice već da je sa rapoloživih 50 ladica zauzeto 324 skladišne lokacije koje se nalaze u visinskim koracima od 25 mm. Opcija koju nudi shuttle uređaj, a korisnik uređaja sa slike ju trenutno ne koristi, je rezerviranje određenog broja skladišnih lokacija, najčešće u neposrednoj blizini radnog otvora, koje se koriste za najčešće izuzimanu robu.

Uređaj kroz prikazani modul prati opterećenje prednje odnosno stražnje kolone kako nebi došlo do disbalansa cijelog sustava i time povećanog naprezanja na temelje, vodilice i pogon manipulacijskog uređaja. Iz tog razloga uređaj „važ“ svaku pojedinu ladicu prije i nakon što ju isporuči na radni otvor.

5.3.1 Vremena koja određuju trajanje radnog ciklusa uređaja

Radni ciklus shuttle uređaja kao kompleksnog uređaja sastoji se od više vremena trajanja pojedine operacije rada. U konkretnim mjerenjima koja su provedena u sklopu ovoga rada za početak ciklusa, kako je već rečeno, je uzet trenutak zadavanja zahtjeva za ladicom preko upravljačke jedinice a kao kraj ciklusa trenutak zatvaranja sigurnosnih vrata nakon što je ladica isporučena na radni otvor. U nastavku na dijagramu prikazanom slikom 42. detaljno je prikazan radni ciklus uređaja sa pojedinim vremenima.



Slika 42. Dijagram radnog ciklusa promatranog shuttle uređaja

Slikom 42. prikazan je dijagram radnog ciklusa u promatranom slučaju, gdje su sigurnosna vrata zatvorena uvijek kada se ne obavlja operacija odlaganja ili izuzimanja s radnog otvora. Što ne mora nužno biti slučaj.

Vrijeme potrebno za otvaranje i zatvaranje sigurnosnih vrata (t_v) je u pravilu isto, jer se servomotor okreće istom brzinom u oba slučaja, te iznosi otprilike 2-2,5 sekunda po operaciji. Čime se dolazi do uštede vremena od 5 sekundi koju spominje proizvođač ako se sigurnosna vrata ne zatvaraju dok je ladica na radnom otvoru. Isto tako je vrijeme potrebno da se obavi izuzimanje (t_{ii}) ili odlaganje ladice (t_{oi}) poprilično uniformno jer izvlakač u toku svake operacije mora prijeći identičan put. Prevaliti put definiran dvostrukom dubinom (radni i povratni hod) instalirane ladice (864 mm) te definirani sigurnosni razmak, a programiran je da se kreće brzinom od 0,273 m/s. Čime se dolazi do podatka od cca 7-8 sekundi za odrađivanje operacije izuzimanja odnosno odlaganja.

Nadalje, vrijeme potrebno da lift prevali potrebni put u vertikalnom smjeru (t_{li}) ovisi o više parametara, brzina kretanja lifta ovisi o tome dali lift putuje pun ili opterećen, ako se lift kreće pun on putuje brzinom od 0,760 m/s što se kroz softver definira kao 100% brzine, dok se brzina putovanja praznog lifta definira sa 156% brzine i iznosi 1,200 m/s. Vrijeme t_{li} dodatno ovisi o tome koliki je put potrebno prevaliti, taj podatak određuje upravljačko računalo koje zna zauzetost pojedinih skladišnih lokacija u blizini radnog otvora ili u blizini lokacije zatražene ladice, a sve na temelju laserskog mjerenja visine u koracima od 25 mm.

5.3.2 Rezultati provedenih mjerenja trajanja radnog ciklusa

U tablici 4. nalaze se rezultati provedenih mjerenja radnih ciklusa na VLM uređaju „Shuttle XP 700“ specifikacije prikazane na slici 39. u prethodnom poglavlju. Ukupno je provedeno 150 mjerenja vremena trajanja radnog ciklusa, u tri različita principa po 50 mjerenja. Prvih 50 mjerenja je napravljeno po principu pozivanje svake ladice jednom i to ladica za ladicom kako su numerirane od 1 do 50. Što ne znači da su one tako i posložene unutar samog uređaja, jer to ovisi o više ranije spomenutih razloga.

Drugih 50 mjerenja je provedeno na principu nasumičnog odabira pojedine ladice po nahođenju mjeritelja s ciljem što bolje simulacije realnog korištenja ovog uređaja u sklopu alatnice gdje služi kao skladište reznih alata i dijelova za CNC strojeve.

Trećih 50 mjerenja provedeno je u realnim uvjetima korištenja uređaja. Sve operacije su zadavali ljudi koji se i u praksi koriste uređajem i prema realnim potrebama za određenom ladicom u datom trenutku.

Rezultati mjerenja prikazani su u Tablici 4, a analiza prikazanih rezultata mjerenja bit će data u sljedećem poglavlju.

Tablica 4. Rezultati mjerenja radnih ciklusa Shuttle uređaja, u sekundama

RB. ladice	Prvo mjerenje	Drugo Mjerenje	Treće mjerenje
1.	37,84	50,83	33,45
2.	49,68	44,36	43,82
3.	39,61	47,7	38,18
4.	32,13	42,51	36,98
5.	50,21	49,89	49,6
6.	50,54	46,53	47,23
7.	49,82	50,13	35,66
8.	51,82	51,18	48,55
9.	50,89	50,79	52,63

10.	53,27	49,95	50,41
11.	53,58	51,23	47,68
12.	45,46	44,07	46,13
13.	43,1	42,86	39,14
14.	43,69	45,42	46,77
15.	44,83	47,61	48,75
16.	44,8	43,28	44,19
17.	51,54	52,12	47,62
18.	51,54	44,67	48,73
19.	49,75	50,03	51,14
20.	54,66	46,22	53,34
21.	54,02	47,93	44,25
22.	45,88	41,66	46,12
23.	45,79	49,43	51,61
24.	45,67	51,91	50,24
25.	43,56	45,45	40,29
26.	53,05	49,58	51,69
27.	53,16	54,2	54,62
28.	45,58	42,61	46,02
29.	46,52	43,69	41,13
30.	46,08	43,63	40,74
31.	47,1	50,12	50,66
32.	48,16	47,58	50,1
33.	47,28	44,16	42,37
34.	44,68	46,81	45,49
35.	49,43	48,04	52,41
36.	48,69	51,24	50,84
37.	49,04	46,17	47,19
38.	49,18	46,87	48,7
39.	48,83	44,51	40,11
40.	50,29	51,12	50,54
41.	49,32	50,8	49,86
42.	50,8	52,32	53,16
43.	49,84	46,87	48,79
44.	45,24	42,18	39,82
45.	51,19	49,93	50,45
46.	50,14	47,5	48,71
47.	52,74	51,86	54,27
48.	53,28	40,54	47,54
49.	51,24	47,89	49,82
50.	49,66	49,3	51,26
Prosjek	48,08	47,55	46,98

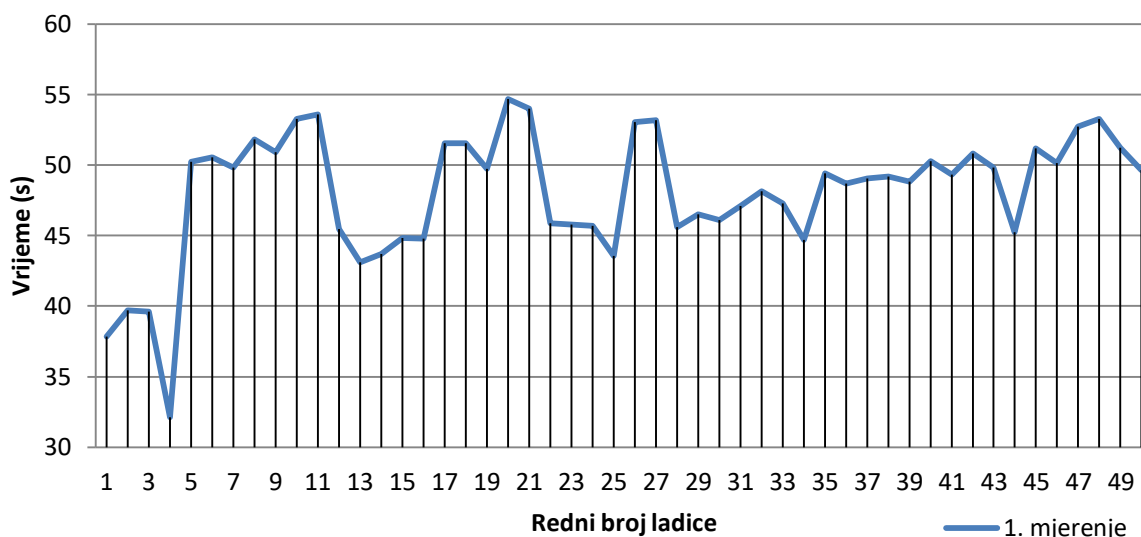
6. ANALIZA I USPOREDBA ANALITIČKIH I EMPIRIJSKIH PARAMETARA RADA

U sklopu ovoga poglavlja prikazat će se analiza izmjerenih vremena radnih ciklusa, dati će se njihova usporedba s analitičkim proračunom kojeg daje proizvođač uređaja te s modelom određivanja radnog ciklusa VLM uređaja predloženom u znanstvenom radu Meller & Klote, „A throughput model for carousel/VLM pods“, 2004 [11].

6.1 Analiza i usporedba empirijskih parametara rada i parametara prema proračunu proizvođača

Prema proračunu proizvođača Kardex prikazanom u poglavlju 5.1 vremena potrebna za obavljanje pojedinog radnog ciklusa su sljedeća:

- Prosječno vrijeme pristupa ladici, odnosno prosječno vrijeme potrebno za dvostruki radni ciklus - $T_{\phi} \approx 46$ s
- Maksimalno vrijeme pristupa ladici, odnosno maksimalno vrijeme potrebno za dvostruki radni ciklus - $T_{\max} \approx 55$ s



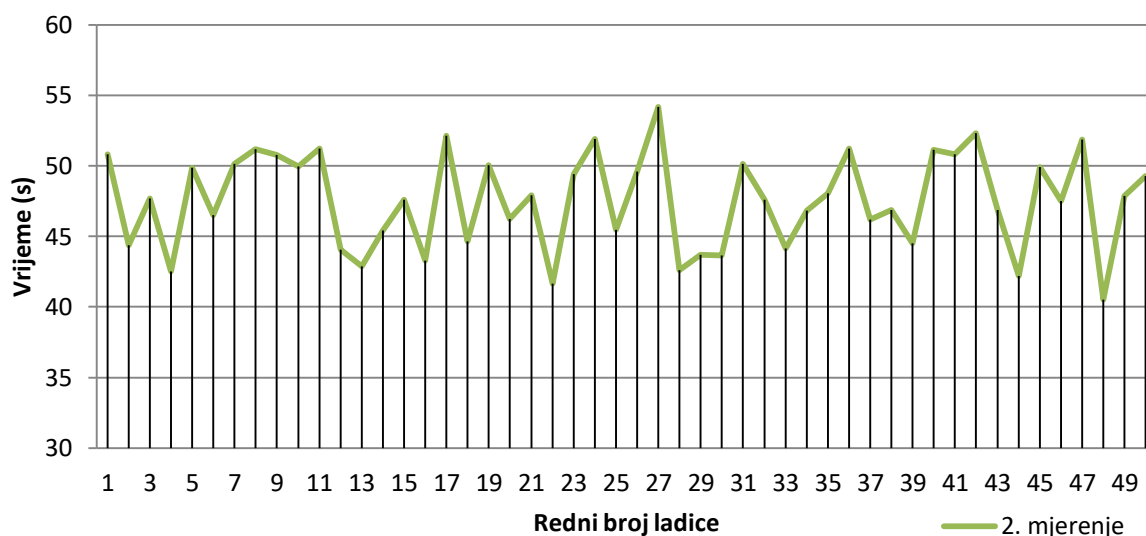
Slika 43. Dijagram prvih 50 mjerenja

Slikom 43. prikazan je dijagram raspodjele vremena prvih 50 provedenih mjerenja po principu pozivanja ladica jedne za drugom kako su numerirane. Vidljivo je da postoje određena odstupanja u izmjerenim vremenima što je posljedica udaljenosti pojedine ladice od

radnog otvora. Dijagram pokazuje da stvarni raspored ladica unutar uređaja nije prema njihovoj numeraciji već doista zavisi o fizičkim izmjerama ladica i prema potrebi za određenom ladicom koju uređaj prepoznaje. Nadalje, iz dijagrama je vidljivo da uređaj niti u jednom radnom ciklusu nije premašio maksimalno vrijeme od 55 sekundi koje je dobiveno proračunom proizvođača.

Prosječno vrijeme izuzimanja u prvih 50 provedenih mjerenja iznosilo je 48,08 sekundi, te je s obzirom na proračunom dobiveno vrijeme od 46 sekundi veće za 4,53%. Što se moglo i očekivati pošto se uređaj u praksi nikada ne koristi na ovakav način i samim time pozicije ladica unutar uređaja nisu optimirane za ovakav tip pozivanja.

Na slici 44. prikazan je dijagram za provedenih drugih 50 mjerenja, mjerenja su provedena po principu slučajnog odabira ladica, slučajni brojevi od 1 do 50 su generirani generatorom slučajnih brojeva te su prema tome ladice i pozivane kako bi se što bolje simulirala realna eksploatacija uređaja. Ovakav način pozivanja ladica odgovara određivanju prosjeka za slučajni (nasumični) raspored odlaganja kakav pretpostavlja i model opisan u nastavku.

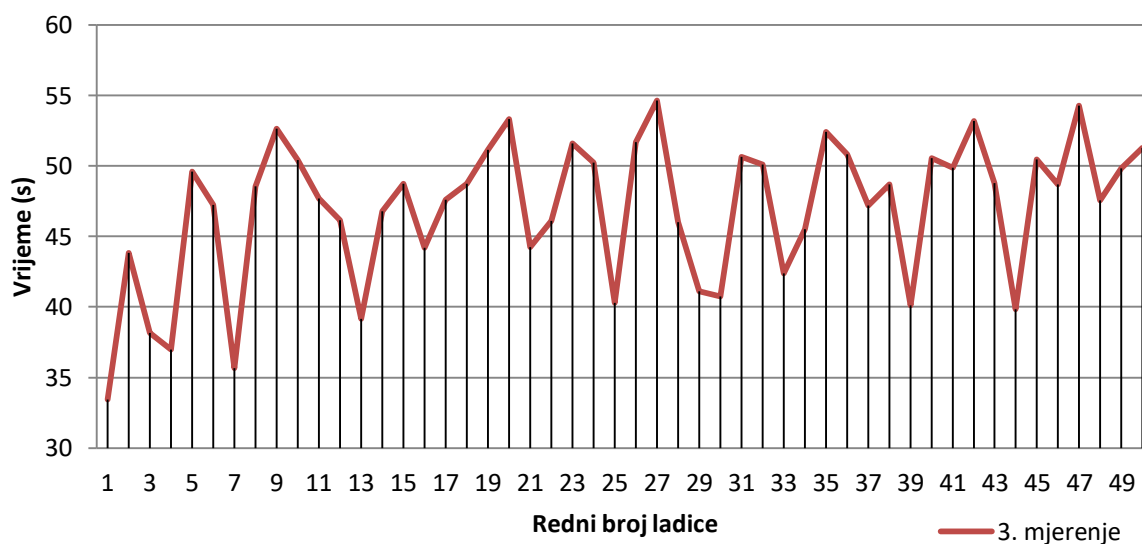


Slika 44. Dijagram drugih 50 mjerenja

Slikom 44. prikazan je dijagram raspodjele vremena drugih 50 provedenih mjerenja po ranije opisanom principu. Iz dijagrama je vidljivo da je raspon rezultata u puno užem okviru, svi rezultati nalaze se u rasponu od 40 do 55 sekundi.

Prosječno vrijeme izuzimanja u drugih 50 provedenih mjerenja iznosilo je 47,55 sekundi, te je s obzirom na proračunom dobiveno vrijeme od 46 sekundi veće za 3,36%. Što

je bliže proračunom dobivenom prosjeku jer je ovakvim principom mjerenja bolje opisano korištenje uređaja u praksi, samim time pozicije ladica unutar uređaja bolje su razmještene za ovakav tip pozivanja.



Slika 45. Dijagram trećih 50 mjerenja

Dijagram trećih 50 mjerenja prikazan je na slici 45. 50 izmjerenih vremena dobiveno je praćenjem korištenja uređaja u realnim uvjetima u sklopu alatnice poduzeća GE Power u Karlovcu. Naravno od 50 ladica koje se nalaze u uređaju neke se pozivaju češće od drugih, te je za određeni broj ladica vrijeme prikazano u tablici 4. i dijagramu na slici 45. dobiveno prosjekom tih izmjerenih vremena.

Prosječno vrijeme izuzimanja u tih 50 provedenih mjerenja iznosilo je 46,98 sekundi, te je s obzirom na proračunom dobiveno vrijeme od 46 sekundi veće za 2,12%. Što je najbliže proračunom dobivenom prosjeku, te se može, s obzirom na relativno mali broj mjerenja, pripisati utjecaju mjeritelja i točnošću mjerne opreme.

Iz zadnjih 50 mjerenja bitnije je primijetiti vidljiva odstupanja od prosjeka kod određenih ladica, odnosno u vremenima potrebnim za njihovo izuzimanje. Konkretno radi se o ladicama s rednim brojevima: 1, 3, 4, 7, 13, 25, 29, 30, 39 i 44 koje se nalaze u tzv. „zlatnoj zoni“ unutar uređaja. Nabrojanih 10 ladica upravljačko računalo je kroz određeni broj ciklusa prepoznalo kao one kojima operateri najčešće pristupaju i iz tog razloga im je kroz rad oslobodio skladišne lokacije u blizini radnog otvora kako bi značajno skratio vrijeme radnog ciklusa za najfrekventnije ladice. Spomenuta „zlatna zona“ uređaja prikazana je na slici 46.

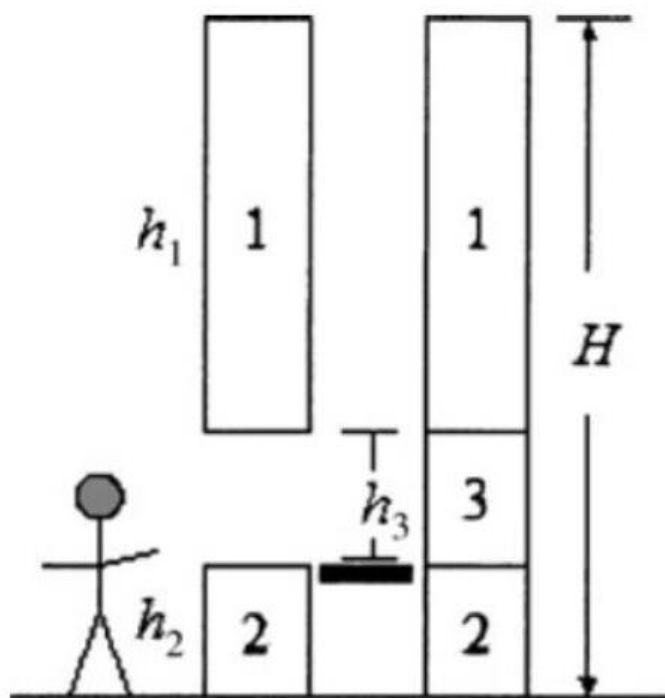


Slika 46. Pozicija „zlatne zone“ unutar uređaja

Prostor označen crvenom linijom uređaj je po ranije opisanom principu dodijelio za 10 najfrekventnijih ladica. Prosječno vrijeme izuzimanja kod nabrojanih 10 ladica u „zlatnoj zoni“ iznosilo je 38,55 sekundi, te je s obzirom na proračunom dobiveno vrijeme od 46 sekundi manje za 16,20%. Odnosno po apsolutnom iznosu radi se o uštedi od cca 7,5 sekundi po radnom ciklusu, što korisniku u praksi omogućuje značajno povećanje frekvencije izuzimanja.

6.2 Analiza i usporedba empirijskih parametara rada i parametara dobivenih analitičkim modelom

U ovom djelu utvrdit će se značajke za određivanje radnog ciklusa pomoću modela protoka za VLM uređaje kojeg su u znanstvenom radu „*A throughput model for carousel/VLM pods*“ predložili u Meller & Klote, 2004 [11]. Pri tome su se vodili načelom da VLM uvijek radi u dvostrukom ciklusu (DC) izuzimanja/odlaganja pojedine ladice, izuzev prvog izuzimanja i zadnjeg odlaganja, koji se izvode kao jednostruki ciklus (SC). Zbog relativno male veličine (visine) VLM uređaja, radni otvor, odnosno njegova visina, koji operator koristi za odabir artikala u sklopu ovoga modela mora se uzeti kao relevantan faktor. Iz tog razloga svaki VLM uređaj podjeli se u tri dijela kako je prikazano na slici 47.



Slika 47. Tipične sekcije VLM uređaja [11]

Sekcija 3 unutar uređaja, kao što je prikazano na slici, koristi se kao otvor za prednju polovicu uređaja, i stoga, u tom dijelu nema mjesta za pohranu. Standardna vrijednost za h_2 je 833 mm, a za h_3 je 996 mm za konkretan model uređaja (u drugim izvedbama uređaja, h_3 se smanjuje ili povećava u ovisnosti o dimenzijama robe koja se skladišti).

U sklopu ovog modela svaka sekcija uređaja proučavat će se kao neprekinuti segment, uz pretpostavku da postoji više ladica pohranjenih u svakoj sekciji i da je broj ladica u svakoj

sekciji proporcionalan vrijednost visine pojedine sekcije. Pri tome za notaciju iz slike 47. vrijedi sljedeće:

GH – visina VLM uređaja,

h_1, h_2, h_3 – visine pojedinih sekcija VLM uređaja,

$t_{a/d}$ – dodatno vrijeme za ubrzanje ili usporenje manipulacijskog uređaja,

$t_{p/d}$ – vrijeme odlaganja ili izuzimanja spremnika,

t_{0i} – očekivano vrijeme vožnje od/do radnog otvora do/od sekcije i ,

t_{ij} – očekivano vrijeme vožnje sekcije i do sekcije j ,

p_1, p_2, p_3 – vjerojatnosti odlaganja spremnika u odgovarajućim sekcijama,

p_{ij} – vjerojatnost da se dvostrukim ciklusom odlaže spremnik u sekciji i te izuzima u sekciji j ,

v – brzina vožnje manipulacijskog uređaja,

$E(SC)$ – očekivano vrijeme vožnje manipulacijskog uređaja u jednostrukom ciklusu,

$E(DC)$ – očekivano vrijeme vožnje manipulacijskog uređaja u dvostrukom ciklusu.

Pod pretpostavkom nasumičnog odlaganja unutar VLM uređaja, očekivana vremena vožnje od/do radnog otvora do/od sekcija 1,2 i 3 su:

$$\begin{aligned} t_{01} &= (h_3 + h_1 / 2) / v \\ t_{02} &= (h_2 / 2) / v \\ t_{03} &= (h_3 / 2) / v \end{aligned}$$

Očekivana vremena vožnje između lokacija u sekcijama (dakako ovise o dimenzijama pojedinih sekcija, uz spomenutu pretpostavku o nasumičnom odlaganju) izražena su kao:

$$\begin{aligned} t_{11} &= (h_1 / 3) / v \\ t_{12} = t_{21} &= (h_1 / 2 + h_3 + h_2 / 2) / v \\ t_{13} = t_{31} &= (h_1 / 2 + h_2 / 2) / v \\ t_{22} &= (h_2 / 3) / v \\ t_{23} = t_{32} &= (h_2 / 2 + h_3 / 2) / v \\ t_{33} &= (h_3 / 3) / v \end{aligned}$$

Vjerojatnost da će se u dvostrukom ciklusu manipulacijski uređaj ladicu odložiti u sekciji i te izuzeti slijedeću u sekciji j jednaka je $p_i p_j$, pri čemu je:

$$\begin{aligned} p_1 &= 2h_1 / (2GH - h_3) \\ p_2 &= 2h_2 / (2GH - h_3) \\ p_3 &= h_3 / (2GH - h_3) \end{aligned}$$

Očekivano vrijeme vožnje manipulacijskog uređaja u jednostrukom odnosno dvostrukom radnom ciklusu tako su:

$$\begin{aligned} E(SC) &= \sum_{i=1}^3 2t_{0i} \cdot p_i \\ E(DC) &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (t_{0i} + t_{ij} + t_{0j}) \cdot p_i p_j \end{aligned}$$

Konačno, očekivana vremena jednostrukog i dvostrukog radnog ciklusa (vremena vožnje uvećana za vremena ubrzanja i usporenja te vremena odlaganja i izuzimanja ladice) su:

$$\begin{aligned} T(SC) &= E(SC) + 2 \cdot t_{a/d} + 2 \cdot t_{p/d} \\ T(DC) &= E(DC) + 3 \cdot t_{a/d} + 4 \cdot t_{p/d} \end{aligned}$$

Prema opisanome modelu, uz vrijednosti realnih parametara promatranog VLM uređaja, izračunati će se vremena jednostrukog i dvostrukog radnog ciklusa. Vrijednosti realnih parametara su sljedeće:

$GH = 7050 \text{ mm} = 7,05 \text{ m}$ – visina VLM uređaja,

$h_1 = 5221 \text{ mm} = 5,221 \text{ m}$ – visina iznad radnog otvora,

$h_2 = TH = 833 \text{ mm} = 0,833 \text{ m}$ – visina praga radnog otvora,

$h_3 = OH = 996 \text{ mm} = 0,996 \text{ m}$ – visina radnog otvora,

$t_{a/d} = 0,2 \text{ s}$ – dodatno vrijeme za ubrzanje ili usporenje manipulacijskog uređaja,

$t_{p/d} = 8 \text{ s}$ – vrijeme odlaganja ili izuzimanja spremnika,

$v = 0,8 \text{ m/s}$ (prosječno) – brzina vožnje manipulacijskog uređaja.

$$\begin{aligned} t_{01} &= (h_3 + h_1 / 2) / v = (0,996 + 5,221 / 2) / 0,8 \rightarrow t_{01} = 4,508 \text{ s} \\ t_{02} &= (h_2 / 2) / v = (0,833 / 2) / 0,8 \rightarrow t_{02} = 0,521 \text{ s} \\ t_{03} &= (h_3 / 2) / v = (0,996 / 2) / 0,8 \rightarrow t_{03} = 0,622 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{11} &= (h_1 / 3) / v = (5,211 / 3) / 0,8 \rightarrow t_{11} = 2,175 \text{ s} \\
t_{12} = t_{21} &= (h_1 / 2 + h_3 + h_2 / 2) / v = (5,221 / 2 + 0,996 + 0,833 / 2) / 0,8 \rightarrow t_{12} = 5,029 \text{ s} \\
t_{13} = t_{31} &= (h_1 / 2 + h_2 / 2) / v = (5,221 / 2 + 0,833 / 2) / 0,8 \rightarrow t_{13} = 3,784 \text{ s} \\
t_{22} &= (h_2 / 3) / v = (0,833 / 3) / 0,8 \rightarrow t_{22} = 0,347 \text{ s} \\
t_{23} = t_{32} &= (h_2 / 2 + h_3 / 2) / v = (0,833 / 2 + 0,996 / 2) / 0,8 \rightarrow t_{23} = 1,143 \text{ s} \\
t_{33} &= (h_3 / 3) / v = (0,996 / 3) / 0,8 \rightarrow t_{33} = 0,415 \text{ s}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
p_1 &= 2h_1 / (2GH - h_3) = 2 \cdot 5,221 / (2 \cdot 7,05 - 0,996) \rightarrow p_1 = 0,7969 \\
p_2 &= 2h_2 / (2GH - h_3) = 2 \cdot 0,833 / (2 \cdot 7,05 - 0,996) \rightarrow p_2 = 0,1271 \\
p_3 &= h_3 / (2GH - h_3) = 0,996 / (2 \cdot 7,05 - 0,996) \rightarrow p_3 = 0,076
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E(SC) &= \sum_{i=1}^3 2t_{0i} \cdot p_i \rightarrow E(SC) = 7,412 \text{ s} \\
E(DC) &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (t_{0i} + t_{ij} + t_{0j}) \cdot p_i p_j \rightarrow E(DC) = 10,298 \text{ s}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T(SC) &= E(SC) + 2 \cdot t_{a/d} + 2 \cdot t_{p/d} = 7,412 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 8 \rightarrow T(SC) = 23,812 \text{ s} \\
T(DC) &= E(DC) + 3 \cdot t_{a/d} + 4 \cdot t_{p/d} = 10,298 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 8 \rightarrow T(DC) = 42,898 \text{ s}
\end{aligned}$$

Temeljem prikazanog modela protoka za VLM uređaje kojeg su osmislili Russell D. Meller i John F. Klote [11], izračunato je da vrijeme potrebno uređaju da obavi dvostruki radni ciklus iznosi 42,898 sekundi, odnosno približno 43 sekunde.

Kada na to izračunato vrijeme dodamo približno 5 sekundi koje proizvođač Kardex deklarira da je potrebno za dodatno zatvaranje i otvaranje sigurnosnih vrata za vrijeme dok je ladica na radnom otvoru, dolazi se do vremena radnog ciklusa od približno 48 sekundi.

Usporedimo li to izračunato vrijeme s prosječnim vremenima ostvarenim mjerenjima 1, 2 i 3 dolazi se do sljedećih odstupanja:

- Vrijeme radnog ciklusa utvrđeno 1. mjerenjem s obzirom na izračunatu vrijednost veće je za 0,17 %. Time se može ustvrditi da model jako dobro aproksimira vremena radnih ciklusa VLM uređaja kada se ladice pozivaju kako su numerirane kroz sustav.

- Vrijeme radnog ciklusa utvrđeno 2. mjerenjem s obzirom na izračunatu vrijednost manje je za 0,95 %. Time se može ustvrditi da model također jako dobro aproksimira vremena radnih ciklusa VLM uređaja kada se ladice pozivaju slučajnim, nasumičnim, odabirom kako ovaj model i pretpostavlja.
- Vrijeme radnog ciklusa utvrđeno 3. mjerenjem s obzirom na izračunatu vrijednost manje je za 2,17 %. Time se može ustvrditi da model slabije aproksimira vremena radnih ciklusa VLM uređaja kada se ladice pozivaju u realnim radnim uvjetima uređaja. Razlog tomu je ranije spomenuta „zlatna zona“ koju uređaj određuje za 10 najfrekventnijih ladica. Time što uređaj takvim ladicama ustupa mjesta najbliža radnom otvoru, pretpostavka modela da je vrijeme izuzimanja svake ladice nasumično s obzirom na njen smještaju unutar uređaja ne ispunjava se u potpunosti.

Prikazanom usporedbom vremena dobivenih prema modelu Russell D. Meller i John F. Klotea i vremena dobivenim mjerenjima na uređaju u praksi može se ustvrditi da model izvrsno aproksimira vremena radnog ciklusa kada se s uređajem rukuje po principu nasumičnog odabiranja ladica. No, zbog softverskih rješenja koja se primjenjuju prilikom upravljanja VLM uređajima u praksi dolazi do određenih odstupanja između modela i izmjerenih podataka. Iako treba naglasiti da su izračunata odstupanja od 2,17 %, odnosno po apsolutnom iznosu od 1 sekunde itekako zadovoljavajuća s obzirom na to da se radi o kompleksnom dinamičkom sustavu koji svoj rad prilagođava velikom broju ulaznih parametara.

6.3 Usporedba empiriskih podataka s modelima i modela međusobno

Kao relevantna mjerenja za usporedbu Meller & Klote modela za određivanja radnog ciklusa VLM uređaja odabrana su mjerenja jedan i dva. Razlog tomu je što upravo 1. i 2. mjerenje odgovara principu kojim se vodi model, slučajnom (nasumičnom) odlaganju odnosno izuzimanju ladica.

Prosječno vrijeme izuzimanja dobiveno s prvih 50 mjerenja iznosi 48,08 sekundi, dok kod drugih 50 mjerenja iznosi 47,55 sekundi, te u ovom slučaju model, s proračunatim prosjekom od 48 sekundi praktički u potpunosti odgovara izmjerenim vrijednostima. Odstupanje od 0,08, odnosno 0,45 sekundi s obzirom na svega 50 mjerenja i kvalitetu korištene mjerene opreme može se pripisati utjecaju mjeritelja i samoj mjernoj opremi.

Kada se pogleda prosjek izuzimanja ladica ostvaren u 3. mjerenju uviđa se da postoji odstupanje od modela prema Meller & Klote-u, razlog tomu je optimizacija koju vrši softver modernog VLM uređaja. Softver najfrekventnije ladice po ranije opisanom principu smješta u tzv. „zlatnu zonu“ čime se ostvaruju kraća vremena izuzimanja od onih koja se dobivaju izračunatim prosjekom. Samim time uviđa se i razlika između dva modela za određivanje prosječnog radnog ciklusa VLM uređaja, onog prema proizvođaču – Kardec-u i modela prema Meller & Klote-u.

Kardexov model u svojem analitičkom dijelu koristi pomoćne faktore X i Y koji unutar sebe na određene način već imaju uključenu optimizaciju koju će softver u toku rada ostvariti s obzirom na frekvenciju pozivanja određenih ladica. Zbog toga prosjek od 46 sekundi koji se izračunao pomoću Kardexovog proračuna bolje odgovara izmjerenim vrijednostima u trećih 50 mjerenja.

7. ZAKLJUČAK

Kako je istaknuto kroz ovaj diplomski rad, automatizirani skladišni sustavi, a među njima i posebno istaknuti vertikalni podizni moduli, unose brojne prednosti u procese skladištenja robe, kako po pitanju efikasnosti komisioniranja tako i po pitanju ušteda skladišnog volumena i površine. Navedene prednosti vertikalnih podiznih modula u odnosu na ostale sustave vertikalnog uskladištenja proizlaze iz specifičnosti njihove izvedbe – manipulacijskog uređaja (lifta). Lift omogućuje vertikalnom podiznim modulima visoku iskoristivost skladišnog volumena unutar samog uređaja i posebno bitno, optimalan raspored ladica kako bi se maksimalno skratio radni ciklus uređaja.

Svoju najveću primjenu unutar hrvatske industrije vertikalni podizni moduli našli su u farmaceutskoj i metaloprerađivačkoj industriji, te općenito u segmentima gdje je potrebna visoka iskoristivost podne površine u zonama blizu proizvodne ili montažne linije, pri tome se u njima skladište velike količine sitne ili osjetljive robe. Kao dodatna prednost koja je utjecala na veliku primjenu u farmaceutskoj industriji je mogućnost ograničenog pristupa pojedinim skladišnim lokacijama za neautorizirano osoblje čime se dodatno poboljšava sigurnost poslovanja i štiti krajnje korisnike.

Kroz provedena mjerenja trajanja radnih ciklusa i usporedbom tih vremena s podacima dobivenim dvama analitičkim metodama, utvrđeno je kako je moguće vrlo točno analitički ustanoviti radni ciklus pojedinog uređaja uz poznavanje njegovih fizičkih dimenzija i radnih parametara. Time se krajnjem korisniku ovih uređaja već u inicijalnoj fazi može pružiti informacija bitna za planiranje proizvodnih i/ili skladišnih kapaciteta i operativnih performansi uređaja.

S obzirom na aktualne trendove u proizvodnji i skladištenju, kao i temeljem iskustava iz prakse, može se ustvrditi da će u budućnosti vertikalni podizni moduli nalaziti još veću i širu primjenu, kako u svjetskoj tako i u Hrvatskoj industrijskoj proizvodnji i modernim skladišno/logističkim centrima.

8. LITERATURA

- [1] Mikell P. Groover, Automation, Production Systems, and Computer-integrated Manufacturing, Prentice Hall, 2001
- [2] Liam O' Shea, Development of an Automated Storage and Retrieval System in a Dynamic Knowledge Environment, Waterford Institute of Technology, 2007
- [3] Goran Đukić, Posebna poglavlja tehničke logistike, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2017
- [4] <http://www.primatlogistika.hr/> (pristupljeno 04.11.2017.)
- [5] <http://www.dexion.com/Product-Categories/Pallet-Racking/Pallet-Shuttle-System/> (pristupljeno 04.11.2017.)
- [6] <http://www.kardex-remstar.com/en/storage-retrieval-systems> (pristupljeno 04.11.2017.)
- [7] Technical Manual Kardex Remstar Shuttle XP 250/500/700/1000, Kardex Produktion Deutschland GmbH, 2013
- [8] Technical Manual Megamat RS 350 / 650 C3000, Kardex Produktion Deutschland GmbH, 2011
- [9] http://www.kardex-remstar.com/fileadmin/user_upload/kardex-remstar/pdf/en/Kardex_Remstar_MegamatRS_EN_RGB.pdf (pristupljeno 03.11.2017.)
- [10] Upute o uporabi – Kardex Remstar Shuttle XP 250/500/700/1000, Kardex Produktion Deutschland GmbH, 2017
- [11] Russell D. Meller i John F. Klote, A throughput model for carousel/VLM pods, IIE Transactions, Virginia Tech, 250 Durham Hall, Blacksburg, VA, 2010.